



**Kemian tekniikan korkeakoulu  
Kemian tekniikan tutkinto-ohjelma**

**Jouni Huttunen**

**BEETAGLUKAAANIPITOISEN KAURAJUOMAJAUHEEN RAKENTEEEN JA  
TOIMINNAN OPTIMOINTI**

**Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-  
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 10.10.2014.**

**Valvoja**

**Professori Simo Laakso**

**Ohjaajat**

**Diplomi-insinööri Ilkka Lehtomäki**

**Diplomi-insinööri Olavi Myllymäki**

<b>Tekijä</b> Jouni Huttunen		
<b>Työn nimi</b> Beetaglukaanipitoisen kaurajuomajauheen rakenteen ja toiminnan optimointi		
<b>Laitos</b> Biotekniikan ja kemian tekniikan laitos		
<b>Professuuri</b> Soveltava biokemia	<b>Professuurikoodi</b> Kem-30	
<b>Työn valvoja</b> Professori Simo Laakso		
<b>Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t)</b> DI Ilkka Lehtomäki, DI Olavi Myllymäki		
<b>Päivämäärä</b> 10.10.2014	<b>Sivumäärä</b> 52+13	<b>Kieli</b> suomi

### Tiivistelmä

Työn tarkoituksena oli kehittää rakenteeltaan ja toiminnaltaan optimaalinen kaurajuomajauhe beetaglukaanin muokkauksella ja ainesosien valinnalla. Tavoitteena oli kehittää kaurajuomajauhe, joka sekoittuu kylmään ja kuumaan veteen ilman kiintoaineen laskeutumista astian pohjalle. Jauheesta valmistettavan juoman tulee sisältää riittävästi beetaglukaania täyttääkseen kauralle myönnettyt terveystähtämät, mutta juomalla tulee kuitenkin olla riittävän alhainen viskositeetti ollakseen juotavassa muodossa.

Beetaglukaanin muokkausta tutkittiin ekstrudoimalla kauralesettä hyvin vähäisessä vedessä (kosteus <25 %) hyödyntäen happohydrolyysiä ja oksidatiivista pilkontaa. Happohydrolyysin havaittiin vaativan toimiakseen liian paljon happoa, jotta menetelmää voitaisiin käyttää elintarvikkeissa. Askorbiinihappoa käytettäessä ei saatu merkittävää oksidatiivista pilkkoutumista aikaiseksi, joskin lupaavia merkkejä reaktion toimivuudesta oli havaittavissa lisättäessä ekstruusioliuokseen vetyperoksidia.

Reseptiä kehitettäessä kokeiltiin erilaisia beetaglukaanilähteitä: konsentraattia, lesettä ja jauhoja, jotka sisälsivät eri pitoisuuksina beetaglukaania. Lisäksi beetaglukaanina sisältämättömänä ainesosana käytettiin maltodekstriiniä. Eri beetaglukaanilähteiden seoksilla pyrittiin löytämään sopiva tasapaino juoman laskeutuvuuden ja viskositeetin välille. Juomajauheen viskositeetti vesiseoksessa on pääasiassa riippuvainen beetaglukaanin lähteestä, mutta muita vaikuttavia seikkoja havaittiin olevan jauheen tärkkelys- ja maltodekstriinipitoisuus. Tärkkelyksen havaittiin hidastavan jauheen laskeutuvuutta vedessä.

Tärkkelystä, maltodekstriiniä, ja kasviöljyä tarvitaan antamaan jauheelle maitojauhetta muistuttava ravintokoostumus, mutta juoman proteiinipitoisuus jäi 1 %:iin, kun maitojauheessa proteiinia on 3 %.

Juoma tarvitsee myös jonkinlaisen agglomeroitimenetelmän jotta jauhe saadaan sekoittumaan veteen nopeasti. Työssä kokeiltiin myös erilaisia kemiallisia ja mekaanisia menetelmiä jauheen sekoittumisen parantamiseksi.

Beetaglukaania sisältävästä jauheesta valmistetusta juomasta tulee väistämättä viskoosia, ja tärkeä tekijä viskositeetin muodostumiseen on beetaglukaanin ja tärkkelyksen yhteisvaikutus. Viskositeetin muodostuminen kestää kuitenkin pitkän aikaa, kun jauheesta valmistetut juomat nautitaan yleensä pian sekoittamisen jälkeen.

**Avainsanat** Beetaglukaani, vähäinen vesi, kaurajuoma, ekstruusio

---

**Author** Jouni Huttunen

---

**Title of thesis** Optimization of structure and function of beta-glucan containing oat drink powder

---

**Department** Biotechnology and chemical technology

---

**Professorship** Applied Biochemistry**Code of professorship** Kem-30

---

**Thesis supervisor** Professor Simo Laakso

---

**Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s)** M. Sc. Ilkka Lehtomäki, M. Sc. Olavi Myllymäki

---

**Date** 10.10.2014**Number of pages** 52+13**Language** Finnish

---

**Abstract**

The main objective of this Master's thesis was to develop oat drink powder that will contain enough oat beta-glucan for labeling health claim approved by EU. The cholesterol health claim requires lowest amount of beta-glucan, which is 1 g per serving. In order to reach sensible serving size of the final drink product e.g. 250 ml the high viscosity of beta-glucan and the composition of other ingredients, which also have an effect on viscosity, were adjusted. The practical objective was to develop oat drink powder, which will be mixed in cold or hot water without sedimentation.

The decrease of beta-glucan viscosity was examined by extrusion in low water content (<25 %) using acid hydrolysis and oxidative cleaving. Acid hydrolysis required too much phosphoric acid to be suitable method for food processing. When ascorbic acid was used, no notable cleaving was achieved. When hydrogen peroxide was also added into extrusion positive signs were found.

Several oat drink powder recipes were tested using oat bran concentrate, oat bran and oat flour as beta-glucan sources. Maltodextrin was an ingredient, which did not contain beta-glucan. The recipes were measured on the basis, what was the viscosity and sedimentation. Viscosity of oat drink made from powder depends mainly on the level and behavior of beta glucan source. Other factors affecting are concentration of starch and maltodextrin in mixture. Gelatinized starch decreased sedimentation.

Starch, maltodextrin and vegetable oil are required to give the powder similar nutritional value as milk powder. However, the protein level of the final drink is about 1% compared to 3% of milk powder.

In the end a number of methods were tested to improve mixing of the powder to water. A usable method was defined.

Drinks made from powder containing beta-glucan will inevitably be viscose and big factor to the viscosity is the interaction between beta-glucan and starch. However, development of viscosity will take long time, and drinks made from the powder are usually used soon after.

---

**Keywords** beta-glucan, low-water, oat drink, extrusion

---

## **Esipuhe**

Tämä työ on toteutettu Aalto-yliopiston kemiantekniikan korkeakoulun Biotekniikan ja elintarviketekniikan laboratoriossa yhteistyössä Polar Glucan oy:n kanssa. Työn valvoi professori Simo Laakso ja ohjasivat DI Ilkka Lehtomäki ja DI Olavi Myllymäki. Kiitos työn valvojalle ja ohjaajille mielenkiinnosta työtä kohtaan ja saamistani neuvoista työn edetessä.

Erityiskiitos Marjatta Vahvaselälle saamistani avusta diplomityön aikana sekä opintojeni eri vaiheissa.

Lisäksi haluaisin kiittää ystäviäni kannustuksesta aikoina jolloin työ ei tuntunut etenevän.

Espoossa 10.10.2014

## Sisällysluettelo

1. Johdanto .....	1
KIRJALLISUUSOSA	
2. Kaura.....	2
2.1 Tärkkelys .....	3
2.2 Beetaglukaanin rakenne.....	5
2.3 Beetaglukaanin fysiologiset ominaisuudet.....	7
2.4 Kauralle myönnetyt terveysväittämät.....	7
3. Vilja- ja palkokasvijuomat .....	9
4. Kaurajuomajauheen valmistusprosessi .....	10
4.1 Beetaglukaanin rakenteen muokkaus .....	11
4.2 Agglomerointi .....	13
5. Ekstruusio valmistusmenetelmänä.....	15
6. Kaurajuomajauheen vaihtoehtoinen valmistusmenetelmä .....	17
KOKEELLINEN OSA	
7. Kokeellisen työn tavoitteet .....	19
8. Materiaalit ja menetelmät.....	19
8.1 Käytettävissä olleet beetaglukaanilähteet.....	19
8.2 Kaupalliset verrokkituotteet.....	20
8.3 Viskositeetin määrittäminen .....	20
8.4 Beetaglukaanijakeen muokkaus.....	21
8.5 Reseptin kehitys .....	22
8.6 Agglomerointi .....	23
9. Tulokset.....	24
9.1 Esikokeet .....	24

9.2 Kauraleseen beetaglukaanin muokkaus happohydrolyysillä.....	25
9.3 Kauraleseen beetaglukaanin muokkaus oksidatiivisella pilkkomisella .....	26
9.4 Reseptin beetaglukaanilähteet ja tärkkelyslähteet.....	29
9.5 Agglomerointi .....	33
10. Reseptiehdotukset ja niiden arviointi .....	36
10.1 Kehitettyjen reseptien vertaus kaupallisiin tuotteisiin.....	39
10.2 Reseptiehdotuksista valmistettujen juomien laskeutuvuus.....	42
11. Tulosten tarkastelu .....	44
12. Yhteenveto.....	46
13. Jatkotutkimusehdotukset .....	47
Lähteet.....	48
Liite 1: Sokerinlisäyksen vaikutus ekstrudaatin tuottamaan viskositeettiin vesiliuoksessa	
Liite 2: Ekstrudaattiliuoksen hapon määrän vaikutus viskositeettiin vesiliuoksessa	
Liite 3: Askorbiini- ja fosforihapon yhteisvaikutus ekstrutoidun kauraleseen tuottamaan viskositeettiin vesiseoksessa	
Liite 4: Ekstrudoidun kauraleseen viskositeetti ilman happokäsittelyä	
Liite 5: Kauraleseen ja kolloidisen kaurajauhon yhteisviskositeetti	
Liite 6: Kauralese-maltodekstriiniseoksen viskositeetti vesiseoksessa	
Liite 7: Juomaseoksen viskositeetin säilyvyys pitkällä aikavälillä	
Liite 8: Juomaseoksen viskositeetin kylmään ja kuumaan veteen sekoitettaessa	
Liite 9: VTT:ltä saadut molekyylipainonmäärityksen tulokset	

## 1. Johdanto

Työn tarkoituksena oli kehittää menetelmä kaurajuomajauheen valmistamiseksi. Jauheesta haluttiin kasvipohjainen, terveellinen vastine maitojauheelle. Maitojauhe on suhteellisen kallista ja kasvipohjainen jauhe voi olla sekä edullisempaa, että ympäristöystävällisempää. Kauraa käytetään perustana useissa kasvipohjaisissa juomissa, joita pyritään markkinoimaan erityisesti maidon kaltaisina. Kauralle on myös hyväksytty useita terveysväittämiä, jotka perustuvat pääasiassa sen sisältämään ravintokuituun ja erityisesti beetaglukaaniin.

Kehitettäväksi tuotteeksi valittiin juomajauhe juoman sijaan, sillä jauhe on helpompi varastoida ja kuljettaa. Lisäksi jauhetta voidaan hyödyntää juomateollisuudessa tuomaan lisäarvoa tuotteille, lisäämällä niihin kauran terveellisiä ainesosia.

Työn tavoitteena oli valmistaa kaurajuomajauhe, joka sekoittuu kylmään ja kuumaan veteen laskeutumatta astian pohjalle. Juoman tuli sisältää riittävästi kauraa täyttääkseen kauralle myönnetty terveysväittämät, mutta sen tuli olla myös juotavassa muodossa huolimatta kauran ravintokuitujen taipumuksesta muodostaa venyviä ja viskooseja seoksia vedessä. Tärkeä osa työtä oli kauran muokkaaminen viskositeetin laskemiseksi.

Ekstruusiolla voidaan muokata kauran ominaisuuksia ja vähävetisenä yksikköoperaationa ekstruusio oli erityisenä kiinnostuksen kohteena juomajauheen valmistuksessa. Vähävetinen prosessi on jauheen valmistuksessa eduksi, sillä silloin ei tarvita kalliita kuivausprosesseja.

## KIRJALLISUUSOSA

### 2. Kaura

Kaura, kuten muutkin viljakasvit, koostuvat suurimmaksi osaksi tärkkelyksestä. (Zhou *et al.*, 1998b) Viljakasveista juomateollisuudessa käytetään pääasiassa kauraa ja riisiä. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että niiden tärkkelyspartikkelit ovat muiden viljakasvien tärkkelyspartikkeleita huomattavasti pienemmät. (Tester *et al.*, 2004). Pienempi partikkelikoko hidastaa kiintoaineen laskeutumista nesteseoksen pohjalle ja parantaa siten juotavuutta.

Kaura poikkeaa muista suomalaisista viljakasveista, erityisesti kukintonsa ulkonäön puolesta, mutta myös ravintokoostumukseltaan. Kaurassa on huomattavasti muita viljoja enemmän proteiinia, mutta ei ollenkaan gluteenia, joka toimii varastoproteiinina ohrassa, vehnässä ja rukiissa. Gluteeni ei sovellu keliakiaa sairastaville, vaan aiheuttaa suolistossa tulehdusreaktion. Kauraa ei kuitenkaan lueta gluteenittomaksi, koska kauran sekaan joutuu usein muiden viljojen jyviä kontaminoiden sen. Kaura on gluteenitonta jos se on erityisesti tuotettu, valmistettu ja käsitelty välttämällä kontaminaatiota muista viljoista. Gluteenittoman kauran gluteiinipitoisuus ei saa ylittää 20 mg/kg. (Evira, 2014)

Proteiinien lisäksi kaurassa on muita viljoja enemmän rasvaa. Kauran rasvasta suuri osa on ihmiselle hyödyllisiä moni- tai kertatydyttymättömiä rasvahappoja, kuten linolihappoa. (Anderson ja Börjesdotter, 2011) Kauran rasvoista 90 % koostuu pitkäketjuisista palmitiini- (C16:0), öljy- (C18:1) ja linolihaposta (C18:2). (Zhou *et al.*, 1998a) Suuri osa kauran rasvasta sijaitsee endospermissä. (Heneen *et al.*, 2009) Tästä syystä kaikki kaurajauhot sisältävät paljon rasvaa. Valitettavasti kauran entsyymit alkavat nopeasti pilkkoa rasvoja, jolloin tapahtuu rasvan härskiintymistä ja tuotteen maku pilaantuu. Tämän estämiseksi kaura joudutaan lämpökäsittämään entsyymien inaktivoimiseksi.

Suurin syy kauran saamaan kiinnostukseen terveystuokana on kuitenkin sen ravintokuiduissa ja erityisesti vesiliukoisessa  $\beta$ -glukaanissa, jota on eniten



kaurassa ja ohrassa, mutta myös jonkin verran rukiissa ja vehnässä. Ohrassa  $\beta$ -glukaania on raportoitu olevan 5-11 %, kaurassa 3-7 % ja vehnässä vain 1 %. (Brennan ja Cleary, 2005) Taulukossa 1 on verrattu kaurahiutaleen ja vehnähiutaleen ravintoarvoja.

Taulukko 1. Kaura- ja vehnähiutaleiden ravintosisältö (100g) (Anon, 2014a; Anon, 2014e).

	Kaurahiutale	Vehnähiutale
Energiaa	1566 kJ/374 kcal	1362kJ/326 kcal
Rasvaa	7,3 g	2,2 g
joista tyydyttyneitä	0,7 g	0,2 g
Hiilihydraatteja	57 g	58,7 g
joista sokereita	1,3 g	0,7 g
Ravintokuitua	10 g	12,9 g
Proteiinia	14,5 g	10,6 g

Pyrittäessä kehittämään alhaisen viskositeetin omaava kaurajuoma, joka valmistetaan sekoittamalla juomajauhe veteen. Tutkimuksissa on havaittu kaura-vesiseoksen viskositeetin johtuvan  $\beta$ -glukaanista, tärkkelyksestä ja kauran proteiineista, joista tärkein tekijä on  $\beta$ -glukaani. (Liu *et al.*, 2010)

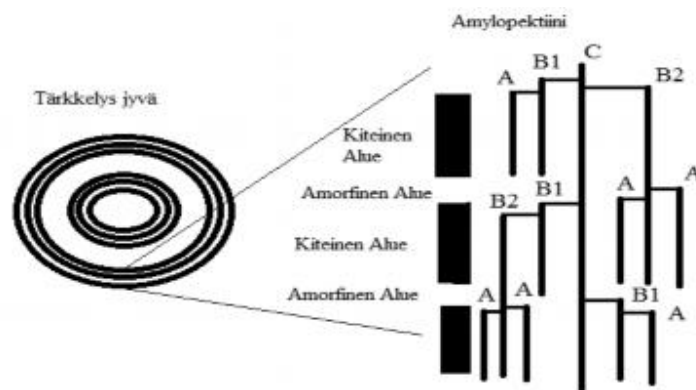
## 2.1 Tärkkelys

Tärkkelyksellä on merkittävä rooli kaurajuoman kehityksessä, sillä kaurajauho koostuu 40–60 % tärkkelyksestä (Zhou *et al.*, 1998b) ja se on toiseksi merkittävin tekijä kaura-vesiseoksen viskositeetissa (Liu *et al.*, 2010). Lisäksi tärkkelyksellä on kaksi ominaisuutta, jotka vaikuttavat merkittävästi kaurajauhon käyttäytymiseen vesiseoksessa, gelatinoituminen ja retrogradaatio.

Tärkkelys koostuu pääasiassa kahdesta glukoosipolymeeristä, amyloosista (25–30 %) ja amylopektiinistä (n. 70 %). (Zhou *et al.*, 1998b) Amylopektiini on runsaasti haaroitunut, lyhyistä  $\alpha$ -glukaaniketjuista koostuva polymeeri. Glukaanimolekyylit ovat liittyneet toisiinsa  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 4-sidoksella, ja

haarautumiskohdassa  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 6-sidoksella. Amylopektiinin glukoosiketjut jaotellaan ryhmiin A, B1, B2, B3, B4 ja C haaroittuneisuusalueidensa ja pituutensa mukaan. A-ketjut ovat haaroittumattomia ulompia glukoosiketjuja, B1-B4 ovat haaroittuneita polymeerejä joissa indeksinumero viittaa ketjussa olevien haarojen (klusterien) määrään. C-ketju on polymeerin tukiranka johon A- ja B-ketjut ovat kiinnittyneet. (Tester *et al.*, 2004)

Amylopektiinit ryhmittyvät muodostaen rakenteita, joissa polymeerit ovat pakkautuneet vieriviereen kehäksi, siten että ketjun alkupää osoittaa kehän keskusta ja häntä suoraan poispäin kehästä. Polymeerin uloimmat haarat, eli A- ja B1-ketjut muodostavat kaksoisheliksejä. Koska haaroittuneisuutta esiintyy ketjun varrella yleensä säännöllisesti 9 nm välein, pakkautuvat vierekkäin olevat kaksoisheliksit kiderakenteiksi. Haaroittuneisuuden säännöllisyydestä johtuen jää pakkautuneiden kidekerrosten väliin pehmeämpiä amorfisia alueita. (Tester *et al.*, 2004) Amylopektiinin muodostama rakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Amylopektiinin muodostama kiderakenne tärkkelyksessä. (Mukaillen Tester *et al.*, 2004)

Toinen tärkkelyksessä esiintyvä polysakkaridi on amyloosi. Amyloosi on pitkäketjuinen, lineaarinen polymeeri joka koostuu 1 $\rightarrow$ 4-liittyneistä  $\alpha$ -glukaaneista. Amyloosin oletetaan sijaitsevan pääasiassa tärkkelyksen amorfisilla alueilla ja pääasiassa tärkkelysjuvän ytimessä, vaikka selvää tietoa asiasta ei pystytä esittämään (Saibene ja Seetharaman 2010).

Gelatinoituminen tapahtuu tärkkelystä kuumennettaessa riittävässä määrässä vettä. Amorfiset alueet imevät vettä itseensä ja turpoavat. Amorfisen alueen turpoaminen aiheuttaa sitä ympäröivän kiteisen alueen rakenteen murtumista, jolloin amylopektiinin kaksoisheliksrakenteet pääsevät avautumaan ja amorfisuus kasvaa. (Waigh *et al.*, 2000) Kiderakenteen rikkoutuessa myös amyloosi pääsee virtaamaan ulos tärkkelysjyvistä.

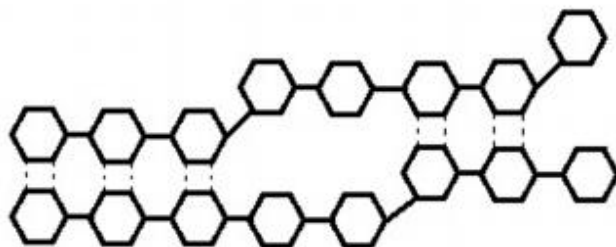
Rakenteen purkautumisen jälkeen partikkelit alkavat uudelleenjärjestäytyä. Amylopektiinien kiderakenteen uudelleen muodostumista kutsutaan retrogradaatioksi. Amylopektiinin retrogradaatio on suhteellisen hidasta verrattuna amyloosin uudelleen järjestäytymiseen. Uudelleenjärjestäytyminen nopeutuu vapaan veden vaikutuksesta, koska vapaa vesi lisää molekyylin liikkuvuutta (Bogacheva *et al.*, 2001).

Esigelatinoitu kaurajauho on käsitelty siten, että gelatinoituminen on saatu tapahtumaan, mutta käytössä oleva vesimäärä ei riitä, jotta tärkkelys pääsisi retrogradoitumaan. Tällä tavalla käsitelty tärkkelys suspendoituu ja myös liukenee käsittelemätöntä tärkkelystä paremmin veteen.

## 2.2 Beetaglukaanin rakenne

Suuri osa kauralle mielletyistä terveydellisistä vaikutuksista pohjautuu sen sisältämään  $\beta$ -glukaaniin ja sen toimintaan elimistössä. Beetaglukaani, eli  $(1\rightarrow3),(1\rightarrow4)$ - $\beta$ -D-glukaani on glukoosimolekyyleistä muodostuva pitkäketjuinen polysakkaridi, jota esiintyy pääasiassa aleuronin ja endospermin soluseinissä. (Anttila *et al.*, 2004) Se muistuttaa hyvin paljon selluloosaa, joka on myös glukoosimolekyyleistä muodostuva polysakkaridi, jossa glukoosit ovat linkittyneet  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4-sidoksilla. Tällöin muodostuu pitkiä suoria glukoosiketjuja, jotka pystyvät pakkautumaan tiiviisti toisiaan vasten muodostaen ketjujen välille vetysidoksia (O'sullivan, 1997) ja tehden rakenteesta kestävä.  $\beta$ -glukaanissa puolestaan glukoosimolekyylit voivat olla linkittyneinä toisiinsa myös ensimmäisestä ja kolmannelta hiilestä. Nämä  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-sidokset estävät  $\beta$ -glukaaniketjujen pakkautumisen tiiviisti. Tällöin rakenteesta tulee joustava ja sen vedensitomiskyky paranee. (Anttila *et al.*, 2004)

Beetaglukaanipolymeeri muodostuu jaksoista, joissa on yleensä kolmesta kymmeneen  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4-sidoksilla toisiinsa liittynyttä glukoosia ja niiden perässä yksittäinen  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-sidoksella liittynyt glukoosi. Polymeerissä ei esiinny peräkkäin useampia  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-sidoksellisia glukoosiyksiköitä. (Tosh *et al.*, 2004) Yleisimmät jaksot sisältävät kolme tai neljä  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4-sidoksellista glukoosia. Nämä ryhmät muodostavat 85–90 % koko molekyylin painosta (Wood, 2007).  $\beta$ -glukaanin glukoosimolekyylien linkittyminen ja  $\beta$ -glukaaniketjujen väliset vetysidokset on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Beetaglukaanin rakenne ja vuorovaikutus toisen beetaglukaanin kanssa (Mukaillen Anttila *et al.*, 2004)

Käsitlemättömän  $\beta$ -glukaanipolymeerin moolimassa on noin. 2 milj. g/mol (Anderson ja Börjesdotter, 2011), mutta se pilkkoutuu käsiteltäessä ja voi olla lopuksi enää 100000 g/mol. Mitä pitempi ketjuisia  $\beta$ -glukaanipolymeerejä seoksessa on, sitä suurempi on niiden veden sidontakyky ja siten myös sen vaikutus liuoksen viskositeettiin. (Salovaara *et al.*, 2007)

Kun pitkäketjuisten  $\beta$ -glukaanimolekyylien pitoisuus liuoksessa ylittää 0,2 %, niiden välille muodostuu vetysidoksia ja ne alkavat kietoutua toisiinsa. Tällöin syntyy viskooseja ja pseudoplastisia seoksia. Viskositeetti on suoraan verrannollinen  $\beta$ -glukaanin pitoisuuteen ja molekyylipainoon seoksessa. (Anttila *et al.*, 2004)

### 2.3 Beetaglukaanin fysiologiset ominaisuudet

Ravintokuidut kulkeutuvat ruuansulatuskanavan läpi jokseenkin hajoamatta, ja niiden terveydelliset vaikutukset perustuvat yleensä juuri tähän seikkaan. Liukoisilla ravintokuiduilla on lisäksi kyky muodostaa geeliä ja sitoa itseensä vettä. Tätä ominaisuutta, sekä sen vaikutusta ruuansulatuksen reologiaan pidetään tärkeimpänä syynä  $\beta$ glukaanin terveydellisiin vaikutuksiin. (Wood, 2002)

$\beta$ -glukaanin terveydellisiä ominaisuuksia on tutkittu kauan ja sillä on havaittu olevan kolesterolia alentavia vaikutuksia ja positiivinen vaikutus glykeemiseen vasteeseen. Sen on havaittu alentavan ruokailun jälkeistä glykeemistä tasoa lisäämällä viskositeettiä vatsassa ja ohutsuolessa, ja siten hidastaen ravinteiden imeytymistä. Tällöin elimistö ei joudu reagoimaan yhtä nopeasti ja voimakkaasti veren sokeritasoon ja sokeritaso pysyy helpommin hallittavissa. Sokeritason helpommasta hallittavuudesta on hyötyä etenkin diabeetikoille. (Würsch ja Pi-Sunyer, 1997)

$\beta$ -glukaanin muodostamasta viskositeetin noususta on hyötyä kolesterolin hallinnassa, sillä sen lisäksi että se estää kolesterolin imeytymistä, noussut viskositeetti estää myös sappinesteiden takaisin imeytymistä. Näin menetettyjen yhdisteiden korvaamiseksi maksa joutuu valmistamaan lisää sappinestettä kolesterolista. (Salovaara *et al.*, 2007)

### 2.4 Kauralle myönnetyt terveysväittämät

Vuonna 1997 Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkevirasto FDA hyväksyi kauralle terveysväittämän ”Voi alentaa sydäntautien riskiä”, saatuaan riittävästi näyttöä siitä, että liukoiset kuidut pienentävät riskiä sairastua sepelvaltimotautiin. Suurimpana vaikuttavana tekijänä katsotaan olevan  $\beta$ -glukaanin, jonka 3 g päivittäisannosta pidetään riittävänä positiivisten tulosten aikaan saamiseksi. Kun tämä jaetaan tasan FDA:n suosittelemien neljän päivittäisen aterian kesken (aamiainen, lounas, välipala ja päivällinen), saatu 0,75 g/annos kattaa vaaditun terveysväittämän. (FDA, 1997)

EU jakaa asetuksessaan N:o 1924/2006 terveystäydennykset kahteen luokkaan. Nämä ovat artiklan 13 ja 14 mukaiset terveystäydennykset. Artiklan 13 mukaisen terveystäydennyksen elintarvike voi saada silloin, kun sen terveysvaikutus ei liity suoraan jonkin taudin ehkäisemiseen tai torjumiseen. Tällaisia voivat olla esim. painonhallintaan tai kylläisyydentunteeseen liittyvät täydennykset. Artiklan 14 mukaiset täydennykset puolestaan liittyvät sairauksien riskien vähentämiseen tai lasten kehitykseen ja terveyteen. Tällaista terveystäydennystä käytettäessä tulee kuluttajaa muistuttaa siitä, että kyseessä olevaan taudin puhkeamiseen vaikuttaa moni eri tekijä eikä pelkkä terveysvaikutteisen tuotteen nauttiminen yksin suojaa täysin taudilta. (EU, 2006)

Euroopan elintarvikevirasto EFSA on hyväksynyt kauralle neljä terveystäydennystä, jotka pohjautuvat pääasiassa sen sisältämän  $\beta$ -glukaanin terveyttä edistäviin vaikutuksiin. Vuonna 2011 EFSA hyväksyi kauran  $\beta$ -glukaanille artiklaan 14 mukaisen terveystäydennyksen ”Kauran  $\beta$ -glukaanin on todettu alentavan veren kolesterolia, ja siten alentavan sepelvaltimotaudin riskiä (EU, 2011). Tätä täydennystä voidaan käyttää mikäli tuote sisältää 1 g  $\beta$ -glukaania/annos. Vuotta myöhemmin hyväksyttiin kolme artiklan 13 mukaista täydennystä ”  $\beta$ -glukaani auttaa hallitsemaan veren kolesterolitasoa” (voidaan käyttää mikäli tuote sisältää 1 g  $\beta$ -glukaania/annos), ”Kauran ja ohran  $\beta$ -glukaani vaikuttaa alentavasti veren sokerin nousuun ruokailun jälkeen” (voidaan käyttää mikäli tuote sisältää 4 g  $\beta$ -glukaania 30 g hiilihydraattia kohden annoksessa) ja ”Kauran kuidut lisäävät ulosteen kiintoaineen määrää” (voidaan käyttää runsaskuituisissa tuotteissa). (EU, 2012)

Tämän lisäksi muutamilla EU:n jäsenmailla, kuten Ruotsilla ja Iso-Britannialla on ollut omat hyväksytyt terveystäydennyksensä  $\beta$ -glukaanille elintarvikkeissa, jo ennen EU:n päätöksiä. (Salovaara et al. 2007)

### 3. Vilja- ja palkokasvijuomat

Ennen uuden tuotteen kehittämisen aloittamista on syytä tarkastella jo olemassa olevia samantyyppisiä tuotteita. Markkinoilla on useita vilja- ja palkokasvipohjaisia juomia, jotka pyrkivät profiloitumaan maidon tai kerman korvikkeina ruuanlaitossa ja päivittäisjuomana. Kyseiset juomat valmistetaan mahdollisimman paljon maidon ravintokoostumusta muistuttaviksi. Näihin tuotteisiin lisätään yleensä vitamiineja ja kalsiumia, joita maito sisältää luonnostaan. Taulukkoon 2 on koottu kahden markkinoilla olevan kasvijuoman ja kevytmaidon ravintosisältöprofiilit sellaisina, kuin ne ovat ilmoitettu valmistajien internetsivuilla.

Taulukko 2. Kahden markkinoilla olevan kasvijuoman ja kevytmaidon ravintoarvot per 100 ml (Anon, 2014b; Anon, 2014c; Anon, 2014d).

	Oatly Kaurajuoma	Alpro Soijajuoma	Valio Kevytmaito
Energiaa	190 kJ/45 kcal	163kJ/39 kcal	190 kJ/46kcal
Rasvaa	1,5 g	1,5 g	1,5 g
joista tyydyttyneitä	0,2 g	0,3 g	0,8 g
Hiilihydraatteja	6,5 g	2,5 g	4,8 g
joista sokereita	4 g	2,5 g	4,8 g
Ravintokuitua	0,8 g	0,5 g	0 g
Proteiinia	1 g	3 g	3,2 g
Natriumia	0,04 g	0,04 g	0,04 g
D-vitamiinia	1,5 µg	0,75 µg	1 µg
B2-vitamiinia	0,21 mg	0,21 mg	0,2 mg
B12-vitamiinia	0,38 µg	0,38 µg	0,4 µg
Kalsiumia	120 mg	120 mg	120 mg

Tuotteiden mieltämisen vaihtoehdoksi maidolle huomaa myös siitä, että niiden tuoteselosteissa on usein maininta tuotteen laktoosittomuudesta.

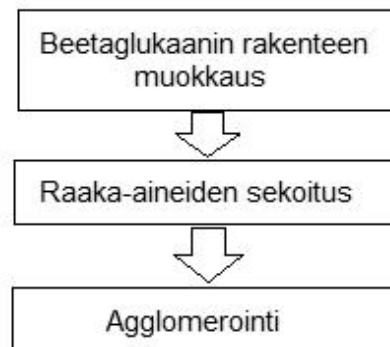
Taulukosta 2 huomataan viljapohjaisten juomien poikkeavan maidosta erityisesti pienemmän proteiinipitoisuutensa vuoksi. Tämä johtuu luultavasti siitä, että viljakasvit sisältävät suhteellisen vähän proteiinia, eikä ole löydetty liukoista kasviperäistä proteiininlähdettä, joka käyttäytyisi tuotteessa halutulla tavalla.

Valmistettaessa kaurajuomaa kuluttajalle joudutaan kauraa käsittelemään runsaasti. Esimerkiksi Oatly on patentoinut kaurajuoman valmistamiseksi menetelmän, jossa kuiva- tai märkäjauhetta kaura sekoitetaan veteen. Vesisuspensiosta pilkotaan tärkkelys  $\alpha$ - ja  $\beta$ -amylaasilla maltoosiksi ja lopuksi kaura-vesiseos homogenisoidaan. (Lindahl *et al.*, 1995) Tällä menetelmällä pilkotaan suuri osa viskositeettia tuottavista komponenteista, eli tärkkelyksestä ja beetaglukaanista. Sekä entsyymikäsittely, että homogenointi vaativat paljon vettä, joten menetelmää ei voida käyttää haluttaessa valmistaa juomajauhetta.

#### **4. Kaurajuomajauheen valmistusprosessi**

Beetaglukaanin ominaisuuksista johtuen prosessi jaettiin kahteen pääosioon:  $\beta$ -glukaanijakeen muokkaus ja tuotteen agglomerointi. Koska käsittelemätön  $\beta$ -glukaani kasvattaa liuoksen viskositeettia liikaa, se täytyy muokata, jotta tuote saadaan juotavaan muotoon. Käsittelymenetelmät, kuten happokäsittely saattaa aiheuttaa muutoksia myös muissa raaka-aineissa. Nämä muutokset voivat haitata itse  $\beta$ -glukaanin muokkausta tai olla muuten ei toivottuja. Siksi mahdollisimman suuri osa raaka-aineista pyritään lisäämään vasta käsittelyn jälkeen. Agglomerointi on yleinen menetelmä valmistettaessa juomajauheita. Sitä käytetään muun muassa valmistettaessa pikakahvia tai maitojauhetta. Agglomeroinnin tarkoitus on parantaa tuotteen käsiteltävyyttä ja rakennetta. (Jinapong *et al.*, 2008) Samalla se helpottaa jauheen sekoittumista veteen, sillä kaurajauho paakkuuntuu helposti vedessä. Prosessin pääpiirteiset vaiheet on esitetty kuvassa 3.





Kuva 3. Kaurajuomajauheen valmistuksen prosessivaiheet

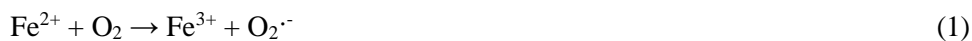
#### 4.1 Beetaglukaanin rakenteen muokkaus

Beetaglukaanin kyky sitoa vettä ja sitä kautta tuottaa viskooseja vesiliuoksia, riippuu sen pitoisuudesta ja polymeeriketjujen molekyylipainoista. Mitä pitempiä ketjut ovat ja mitä enemmän niitä on, sen paremmin ne pystyvät muodostamaan vettä sitovia verkostoja.  $\beta$ -glukaaniketjut hajoavat osittain elintarvikeprosesseissa. Voimakas mekaaninen käsittely, kuten homogenisointi pilkkoo väistämättä osan polymeeriketjuista. Homogenisoinnin on havaittu laskevan  $\beta$ -glukaaniliuoksen viskositeettia, eikä viskositeetti varastoitaessa palautunut ennalleen. Tästä voidaan päätellä, että prosessissa on tapahtunut ketjujen pilkkoutumista. (Kivelä *et al.*, 2010) Mekaanisen käsittelyn lisäksi on olemassa myös muita menetelmiä beetaglukaanin käsittelyyn viskositeetin alentamiseksi.

Beetaglukaani voi pilkkoutua myös entsymaattisesti tai happohydrolyysiä käyttämällä. Entsymaattisessa hajotuksessa käytetään yleensä likenaasientsyymiä, joka pilkkoo  $\beta$ -glukaanin siten, että syntyvissä oligosakkarideissa on yksi  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-liittynyt glukoosi toisessa päädyssä ja sitä seuraavat  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4-glukoosit sen perässä. (Roubroeks *et al.*, 2000) Jottei tuotteen koostumus varastoitaessa muuttuisi merkittävästi, pyritään entsyymit ja mikrobit tuhoamaan siitä kuumentamalla ennen varastointia.  $\beta$ -glukaanin täydellinen happohydrolyysi vaatii alhaisen pH:n (pH1-2) ja korkean lämpötilan (yli 70 °C), mutta jo osittainenkin hajoaminen voi vaikuttaa merkittävästi viskositeettiin. (Kivelä *et al.*, 2009b)

Beetaglukaanin on havaittu hajoavan myös olosuhteissa joissa happo- ja entsyymipilkkoutuminen ovat estetyt. Tutkimukset osoittavat, että  $\beta$ -glukaani voi hajota oksidatiivisesti Fenton-tyyppisessä reaktiossa. (Kivelä *et al.*, 2009a) Toimiakseen Fenton-reaktio tarvitsee veteen liuennutta happea, siirtymämetallin ja aineen jolla on kyky pelkistää siirtymämetalleja. (Kivelä *et al.*, 2009a)

Siirtymämetallin, kuten raudan läsnäolo, katalysoi reaktiota muuttamalla liuennutta happea happiradikaaleiksi. Nämä reagoivat edelleen vedyn kanssa tuottaen hydroksyyliiradikaaleja, jotka taas pystyvät vahingoittamaan biomolekyyliä (yhtälö 1-3). (Faure *et al.*, 2013)



Tätä reaktiosarjaa voidaan tehostaa pienellä määrällä askorbiinihappoa, joka normaalisti toimii antioksidanttina. Pienillä pitoisuuksilla se kuitenkin toimii myös hapettajana käynnistäen Fenton-reaktion. Askorbiinihappo pelkistää raudan takaisin  $\text{Fe}^{2+}$ -ioniksi mahdollistaen siten raudan uudelleen reagoinnin yhtälön 4 mukaisesti. (Faure *et al.*, 2013) Tämän lisäksi askorbiinihappo voi reagoida hapen kanssa muodostaen vetyperoksidia yhtälön 5 mukaisesti. (Kivelä *et al.*, 2009a)



Fenton-reaktiossa syntyvät hydroksyyliiradikaalit vievät vedyn sokeriketjun hiileltä, joka puolestaan reagoi hapen kanssa tuottaen karbonyyliryhmän. reaktion seurauksena polymeeri voi pilkkoutua. (Faure *et al.*, 2013)

Fenton-reaktion on havaittu toimivan parhaiten pH:n ollessa 4,5, jolloin askorbiinihappo on dissosioituneessa muodossaan. (Fry, 1998) Myös korkean lämpötilan on havaittu edistävän reaktion etenemistä. Jo 5 minuuttia 120 °C:ssa tuotti laskun kauralesesuspension viskositeetissa. (Kivelä *et al.*, 2011) Vetyperoksidi toimii fenton-reaktiossa välituotteena, josta hydroksyyliiradikaali

syntyy. Vetyperoksidin lisäyksellä käsittelyliuokseen on havaittu olevan reaktiota tehostava vaikutus (Fry, 1998).  $\beta$ -glukaanin pilkkoutumista Fenton-reaktiossa puolestaan inhiboivat muut yhdisteet joiden kanssa hydroksyyliiradikaalit voivat reagoida. Tällainen yhdiste on esimerkiksi glukoosi. (Kivelä *et al.*, 2009a)

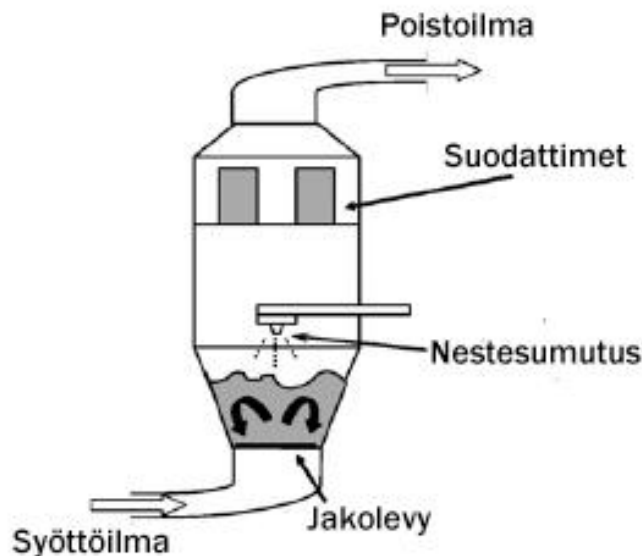
Hydroksyyliiradikaalit tarvitsevat syntyäkseen siirtymämetallin.  $\beta$ -glukaanin tiedetään muodostavan komplekseja metallien kanssa, joten reaktiot tapahtuvat todennäköisesti  $\beta$ -glukaanin välittömässä läheisyydessä. (Kivelä *et al.*, 2009a)

Ravintokuitujen ominaisuuksia muokataan myös ristosidonnalla eli menetelmällä, jossa kaksi polymeeriketjua liitetään toisiinsa kemiallisesti esimerkiksi jonkin metalli-ionin avustuksella. Tällä tavoin saadaan muutettua molekyylien uudelleen järjestäytymistä ja siten muutettua myös niiden kykyä muodostaa viskooseja liuoksia.

## 4.2 Agglomerointi

Agglomeroinnin tarkoitus on kasvattaa kiintoaineen partikkelikokoa. Pienet partikkelit liittyvät toisiinsa paineen tai sidosaineen avulla muodostaen suurempia sekundääripartikkeleja. Sidosaineena voidaan käyttää vettä tai vesipohjaista seosta, joka sisältää tartuntaa parantavia aineita, kuten elintarvikekumeja, tärkkelystä tai sen hajoamistuotteita. Sidosaine sumutetaan partikkelien pinnalle ja kastuneiden partikkelien yhteentörmäyksessä ne tarttuvat kiinni toisiinsa jolloin partikkelikoko kasvaa. Lopuksi partikkelit kuivataan säilyvyyden parantamiseksi. (Ghosal *et al.*, 2010)

Hyvä esimerkki rakeistuslaitteesta on leijupetirakeistin, jossa rakeistettava jauhe pidetään liikkeessä rakeistustilan pohjasta tulevalle lämpimälle ja kuivalle ilmalle, samalla, kun rakeistusliuos sumutetaan jauheen joukkoon ylhäältäpäin. Rakeistuksen jälkeen jauhe voidaan kuivata samalla laitteella, veden siirtyessä kiintoaineesta kuivaan ilmaan. Leijupetirakeistimen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Esimerkki leijupetirakeistimen toimintaperiaatteesta ja pääkomponenteista (Rajniak *et al.*, 2009).

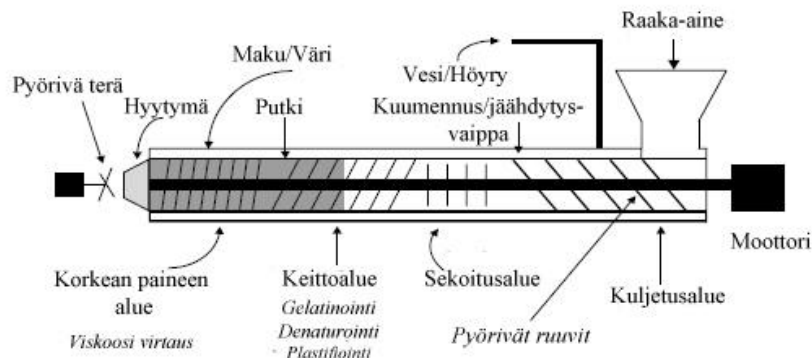
Agglomeroinnilla parannetaan tuotteen fyysisiä ominaisuuksia, kuten kasvatetaan bulkkitiheyttä, estetään ainesosien erottuvuutta ja pölyn muodostumista. Tämä parantaa tuotteen käsiteltävyyttä ja tasalaatuisuutta. (Ghosal *et al.*, 2010) Agglomeroinnissa syntyvät huokoiset rakeet myös päästävät vettä sisäänsä käsittelemätöntä jauhetta helpommin nopeuttaen partikkelien kostumista ja dispergoitumista veteen. Nopean dispergoitumisen kannalta parhaaksi partikkelikooksi on havaittu 150–200 µm. (Jinapong *et al.*, 2008)

Koska agglomeroinnin päätarkoituksena on parantaa dispergoitumista, emulgaattorin käyttö on varteen otettava vaihtoehto rakeistukselle. Emulsio on sekoitusoperaatio, jolla kaksi toisiinsa luonnostaan sekoittumatonta ainetta saadaan sekoittumaan, esimerkiksi vesi ja öljy. Sekoituksessa toinen aineista muodostaa jatkuvan faasin ja toinen aineista pisaroidaan sisäiseksi faasiksi. Normaalioloissa sisäisen faasin pisarat pyrkivät yhdistymään rajapintojen jännityksen takia jotta faasien välinen kosketuspinta olisi mahdollisimman pieni. (Brennan, 2006)

Emulgaattorilla vähennetään rajapintojen välistä jännitettä, ja siten hidastetaan aineiden erottumista. Emulgaattorilla on polaarinen ja ei-polaarinen pää, jotka ominaisuuksiensa mukaan hakeutuvat kohti toista faaseista, muodostaen kerroksen pisaroiden pinnalle ja estäen yhteen pakkautumisen. Emulgaattoreita käytetään leivonnan apuaineena parantamaan taikinan käsiteltävyyttä, veden sidontakykyä ja monia muita ominaisuuksia (Stampfli ja Nersten 1995). Kaurajumajauheessa emulgaattorin tarkoitus on parantaa sekoittuvuutta tarttumalla ei-polaarisella päällään jauhoon, ja veteen lisättäessä vetää hydrofiilisellä päällään kaurapartikkelit erilleen sekoitettaessa.

## **5. Ekstruusio valmistusmenetelmänä**

Ekstrudointi on lyhytkestoinen yksikköoperaatio, jossa tuotetta käsitellään paineen ja lämpötilan avulla. Lämpökäsiteltäessä elintarvikkeita ne menettävät yleensä osan ravinnollisista ominaisuuksistaan. Lyhyen keston ja jatkuvatoimisuutensa ansiosta ekstrudointi on suositumpi kuin useimmat muut elintarvikkeiden käsittelymenetelmät. (Singh *et al.*, 2007) Ekstruuderissa raaka-aineet syötetään sisään putkeen, jossa yksi tai kaksi ruuvia kuljettaa ne putken läpi. Lopuksi ne puristuvat ulos putkesta nauhana, jota voidaan pilkkoa putken päässä olevalla leikkurilla. Putkea ympäröivien lämpövaippojen avulla putken eri osien lämpötilaa voidaan säädellä. Viipymäaika putkessa voidaan muuttaa ruuvien pyörimisnopeudella, ja paine putken eri osissa määräytyy ruuvien kierteiden tiheydestä. Pyörivien ruuvien takia ekstruuderissa tapahtuu myös mekaanista pilkkoutumista. Kuvassa 5 on esitetty ekstruuderin pääkomponentit ja toimintaperiaate.



Kuva 5. Ekstruuderin pääkomponentit ja toimintaperiaate (Wang *et al.*, 2004).

Lämpökäsittelyssä ei-toivotut entsyymit denaturoituvat ja rasvojen hapettuminen vähenee. (Singh *et al.*, 2007) Kaura sisältää suhteellisen paljon rasvaa muihin viljoihin verrattuna, ja jollei entsyymejä inaktivoida, ne alkavat pilkkoa rasvahappoja pilaten kauran maun. Ekstrudoitaessa tapahtuu myös partikkeleissa rakenteellisia muutoksia kuten tärkkelyksen gelatinoitumista, sillä ne ovat lämmön ja paineen lisäksi myös jatkuvan mekaanisen stressin alaisina. Nämä muutokset vaikuttavat aineen koostumukseen ja reologisiin ominaisuuksiin. (Gutkoski ja El-Dash, 1999)

Ekstrudoitujen proteiinien ravinnollinen vaikutus on ekstrudoimattomia parempi. Tämän uskotaan olevan osittain proteiinien denaturoitumisen ja ruuansulatusta häiritsevien entsyymien inaktivoitumisen ansiota. (Singh *et al.*, 2007)

Lämpökäsittely vaikuttaa kauran hiilihydraatteihin, erityisesti tärkkelykseen, joka paisuu ja rikkoutuu, eli gelatinoituu ekstruuderin korkeassa lämpötilassa. Tämän seurauksena kauran vedensidontakyky kasvaa. (Camire ja Flint, 1991) Ekstruusio on erityinen prosessi siinä mielessä, että gelatinoituminen tapahtuu huomattavasti alhaisemmassa kosteudessa kuin muissa prosesseissa. (Singh *et al.*, 2007) Amylopektiinin haaroittunut rakenne altistaa sen repeytymisille ja sekä amyloosi, että amylopektiini voivat pilkkoutua ekstrudoitaessa. Amyloosi muodostaa komplekseja lipidien kanssa sitoen helposti pilaantuvia vapaita rasvahappoja ja parantaen siten tuotteen säilyvyyttä. (Singh *et al.*, 2007)

Rasvaliukoisista vitamiineista D- ja K-vitamiinien on havaittu kestävän ekstrudointia, mutta A- ja E-vitamiinit hajoavat hapen ja lämmön vaikutuksesta. (Singh *et al.*, 2007) Myös C-vitamiini, eli askorbiinihappo, on herkkä kuumuudelle ja hapettumiselle. Ekstrudoinin vaikutusta askorbiinihappoon on tutkittu ja havaittu, että hajoaminen on riippuvainen ekstrudointilämpötilasta ja ruuvien pyörimisnopeudesta. Näistä ekstrudointilämpötilalla on suurempi vaikutus hajoamiseen. Noin 40 % askorbiinihaposta hajoaa lämpötilan ollessa 100 °C ja ruuvinopeuden 300 rpm. (Plunkett ja Ainsworth, 2007)

Ekstruuderikäsittelyn on havaittu soveltuvan beeta-glukaanin muokkaukseen suhteellisen vähäisessä vedessä. Sekä entsyymikäsittelyn, että happohydrolyysin on todettu toimivan 50 % kosteudessa. (Sibakov *et al.*, 2013) Happokäsittelyn uskotaan toimivan jopa 30 % kosteudessa. (Kaukovirta-Norja *et al.*, 2009)

Fenton-reaktion kannalta ekstruuderin on mielenkiintoinen prosessointi menetelmä. Siinä laitteeseen saadaan kaikki reaktiolle tarvittavat ominaisuudet, rauta, happi ja pelkistävä aine. Lisäksi prosessi tapahtuu myös korkeassa lämpötilassa, joka tehostaa reaktiota. Toisaalta prosessissa on vain vähän vettä, jota tarvitaan molekyylien vapaaseen liikkuvuuteen, ja sitä kautta hydroksyyli-radikaalien syntyyn ja pääsyyn käsiksi  $\beta$ -glukaaniin. Myös raaka-aineen viipymäaika laitteessa on hyvin lyhyt, lyhyempi kuin kirjallisuudessa esitetty lyhin aika vaikutuksen synnylle (5 min). (Kivelä *et al.*, 2011) Nämä seikat eivät välttämättä ole esteinä Fenton-reaktion toiminnalle. Sillä on havaittu gelatinoitumisen, joka perustuu tärkkelyksen rakenteen rikkoutumiseen ja molekyylien uudelleen järjestäytymiseen, tapahtuvan ekstruuderissa alhaisemmassa vesimäärässä kuin muissa prosesseissa.

## **6. Kaurajumajauheen vaihtoehtoinen valmistusmenetelmä**

Kasvipohjaisia jumajauheita on mahdollista valmistaa myös samantyyppisellä prosessilla, jolla maitojauhe valmistetaan. Tällöin valmistetaan ensin kasvijuoma samalla tavoin kuin vastaava nestemäinen myytävä tuote. Tästä seoksesta

suodatetaan pois osa vedestä ultrasuodatuksella. Samalla poistuu ei-toivottuja pienimolekyyllisiä aineita, kuten oligosakkarideja. Tämän jälkeen jäljelle jäävä konsentraatti kuivataan spray-kuivurilla ja syntyvä pöly agglomeroidaan käsiteltävyyden parantamiseksi. (Jinapong *et al.*, 2008)

Tämän menetelmä käyttö vaikeutuu seoksen sisältäessä  $\beta$ -glukaania. Vähennettäessä vettä prosessista, kasvaa seoksen viskositeetti nopeasti. Tämän seurauksena suodatus heikkenee, eikä nestettä saada sumutettua spray-kuivuriin riittävän pieninä pisaroina, jotta kuivaus onnistuisi ja saataisiin haluttu lopputulos. Jotta valmistus tällä tavoin olisi mahdollista, joudutaan spray-kuivurissa kuivaamaan huomattavasti suurempi määrä vettä ja seos homogenisoimaan ennen kuivausta.



## KOKEELLINEN OSA

### 7. Kokeellisen työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli kehittää kaurajuomajauhe, joka sisältää riittävästi  $\beta$ -glukaanin täyttääkseen  $\beta$ -glukaanin terveysväittämässä asetetut vaatimukset. Jauheen tulee sekoittua kylmään ja kuumaan veteen, eikä jauheen laskeutuvuus vedessä saa olla merkittävää. Seoksen viskositeetin tulee myös olla riittävän alhainen, jotta seos on juotavassa muodossa.

Tavoitteiden saavuttamiseksi perehdyttiin ensin mahdollisuuksiin käyttää ekstruuderia kauraleseen  $\beta$ -glukaanin muokkaamiseen, sillä käsittelemätön kauralese tuottaa vesiseoksessa korkean viskositeetin. Leseen muokkaus haluttiin tehdä hyvin vähäisessä vedessä ekstrudaatin kuivausvaiheen minimoimiseksi.

Tämän jälkeen tarkasteltiin muita juomajauheen valmistuksessa mahdollisesti käytettäviä raaka-aineita ja niiden vaikutuksia juoman ominaisuuksiin.

Lopuksi tutkittiin erilaisia menetelmiä juomajauheen veteen sekoittumisen parantamiseksi. Kemiallisena menetelmänä kaurajuomajauheeseen sekoitettiin lesitiiniä, joka on yleinen emulgaattori juomajauheissa, kuten kaakaojauheessa. Mekaanisena menetelmänä jauhe rakeistettiin.

### 8. Materiaalit ja menetelmät

#### 8.1 Käytettävissä olleet beetaglukanilähteet

Reseptejä kehitettäessä oli käytettävänä kuusi eri  $\beta$ -glukaanin lähdettä:

- Oy West Mills Ab Ltd:n kauralese, BGLXOB10:tä, jonka ilmoitettu  $\beta$ -glukaanipitoisuus on 10 %. Käytettävissä ollut kauralese-erä vaihtui työn aikana. Käytettyjen erien tuotantoeränumerot ovat 150313 ja 270114.

- Tate & Lylen PromOat –  $\beta$ -glukaanikonsentraattia, jossa on 31 %  $\beta$ -glukaania.
- Oy West Mills Ab Ltd:n kolloidinen täysjyväjauho, joka sisältää 5 %  $\beta$ -glukaania
- Oy West Mills Ab Ltd:n kauraydinkaurajauho, jonka  $\beta$ -glukaanipitoisuus on 2 %.
- Lisäksi on kaksi Swedish Oat Fiberin ydinkaurajauhoa, joista toinen sisälsi 2 % ja toinen 4 %  $\beta$ -glukaania.

## 8.2 Kaupalliset verrokkituotteet

Kehitettävälle tuotteelle valittiin kuusi kaupallista vertailutuotetta, joista 4 voidaan mieltää juotaviksi välipaloiksi:

- Oatly kaurajuoma
- Valio kevytmaito
- Valio AB täyteläisen piimä
- Valio mustikkakeitto
- Innocent kiivi, omena, lime smoothie
- Danone Vitalinea pro juotava jugurtti

## 8.3 Viskositeetin määrittäminen

Kaurajuomajauheen valmistuksen kokeellinen osa koostui kolmesta osa-alueesta. Nämä ovat  $\beta$ -glukaanijakeen muokkaus, reseptin kehitys ja tuotteen rakeistus. Jokaisessa vaiheessa oltiin erityisesti kiinnostuneita kiintoaineen tuottamasta viskositeetista vesiseoksessa. Viskositeetin määrittämiseen käytettiin Bohlin Visco-88 viskosimetriä 25 mm sisäsylinterillä ja 27,5 mm ulommalla sylinterillä, jolloin näytekammion tilavuus on 15 ml (Malvern Instruments, Iso-Britannia). Laitteessa on kahdeksan nopeutta, joilla voidaan määrittää viskositeetti leikkausnopeuksilla 20–1200 1/s. Viskositeettimittauksissa tarkasteltiin erityisesti viskositeetteja leikkausnopeuksilla 40 ja 75 1/s, sillä näillä nopeuksilla saadaan erot viskositeetissä selkeinten näkyviin. Käytetty mittalaitteisto on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Viskositeetin määrittämiseen käytetty viskometri ja näytekammio.

#### 8.4 Beetaglukaanijakeen muokkaus

Muokattavaksi  $\beta$ -glukaaninlähteeksi valittiin kauralese sen suhteellisen alhaisen hinnan ja korkean  $\beta$ -glukaanipitoisuutensa takia. Lesettä pyrittiin muokkaamaan ekstrudoimalla hyvin vähäisessä vedessä (ekstrudaatin kosteus < 25 %). Alhaisella veden määrällä haluttiin minimoida myöhempi kuivauksen tarve.  $\beta$ -glukaanin käsittelyssä käytettiin Clextral BC21 -mallista kaksiruuviekstruuderia (valmistettu Ranskassa 1989). Käytetty ekstruusiolaitteisto on esitetty kuvassa 7. Ekstruuderin ruuvinopeutena käytettiin 350 rpm ja ekstrudointilämpötilana 100 °C. Kuiva-aineensyötöksi säädettiin 40 g/min ja nestesyötöksi 10 ml/min.



Kuva 7. Työssä käytetty ekstruusiolaitteisto.

$\beta$ -glukaania muokataan happohydrolyysillä ja oksidatiivisella pilkonnalla. Happohydrolyysissä käytettiin 85 % orto-fosforihappoa (Merck KGaA). Fosforihappoa käytettiin myös pH säätöön oksidatiivisessa pilkonnassa. Fosforihapon lisäksi happamuudensäätöön kokeiltiin rikki- ja sitruunahappoa, mutta nämä aiheuttivat tuotteessa ei-toivottuja maku- ja aromimuutoksia. Fosforihapon lisäksi oksidatiivisessa pilkonnassa käytettiin askorbiinihappoa (VWR Chemicals) ja 30 % vetyperoksidia (Merck Schuchardt OHG).

Ekstruusiotuotteet kuivattiin lämpökaapissa 80 °C:ssa ja jauhettiin Fritsch-myllyllä 0,5 mm seulaverkon läpi viskositeetti analyysiä varten. Ekstrudoiduista näytteistä määritettiin viskositeetti sekoittamalla 5 g näytettä 100 ml:aan vettä. Näytteet kiehausutettiin mikrossa teholla 600 W ja annettiin jäähtyä 25 °C:ssa vesihauteessa. Kahdelle ekstrudoiduista näytteistä määritettiin VTT molekyylipainot.

Koska  $\beta$ -glukaanijaetta muokataan happojen avulla, määritetään näytteistä happamuus pH-mittarilla (MettlerToledo FiveGo)

## 8.5 Reseptin kehitys

Reseptin raaka-ainekoostumusta laskettaessa huomioidaan koostumuksen kolme päätaavoitetta: 1) Tuotteen tulee sisältää vähintään 50 % kauraa, koska kauran halutaan olevan tuotteen pääraaka-aine. 2) Tuotteessa tulee olla vähintään 4 % beetaglukaania terveystäyttämisen täyttymiseksi. 3) Tuotteesta valmistettavan juoman tulee sisältää 1 % rasvaa ja noin 170 kJ energiaa, jolloin juoma muistuttaa näiltä osin ykkösmaitoa.

Kauralähteiden lisäksi resepteissä käytettiin maltodekstriiniä (valmistaja Cargill), joka nostaa tuotteen energiapitoisuutta hiilihydraattien muodossa eikä itsessään muodosta viskoosia seosta veden kanssa.

Kalsiuminlähteinä käytettiin trikalsiumfosfaattia (Fluka Chemie AG) sekä kalsiumhydroksidia (Riedel-de Haën). Kalsiumhydroksidia käytetään kalsiumlähteenä, kun tarvitaan keino pH:n neutralointiin.

## 8.6 Agglomerointi

Agglomeroinnin tarkoitus on parantaa jauheen sekoittumista veteen. Työssä tutkittiin kolmea eri menetelmää. Kemiallisena menetelmänä jauheeseen lisättiin lesitiiniä (Alfa Aesar) ja mekaanisina menetelminä jauhe rakeistettiin nesteen tai kompaktoinnin avulla.

Kokeissa käytettiin jauheseosta, joka sisälsi 27 % happokäsiteltyä lesettä, 18 % kolloidista kaurajauhoa ja 45 % maltodekstriiniä, jotka ovat jauheseoksen peruskomponentteja. Lisäksi joukkoon lisättiin 5 % rypsiöljyä. Lesitiiniversiossa osa rypsiöljystä korvattiin lesitiinillä.

Rakeistukseen käytettiin kahta menetelmää. Ensimmäinen rakeistus tehtiin patarakeistuksena sekoittamalla kuiva-aineita yleiskoneella ja sumuttamalla samalla joukkoon 20 %:sta siirappi-vesiseosta, kunnes reseptissä haluttu siirappipitoisuus täyttyi ja pieniä rakeita alkoi muodostua. Tällä tavalla saadut rakeet levitettiin pelleille ja kuivattiin uunissa. Lopuksi suurimmat rakeet jauhettiin pienemmiksi, sillä rakeiden koolla on suuri vaikutus niiden hajoamisnopeuteen vedessä. Käytetyt laitteet patarakeistuksen suorittamiseen on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Juomajauheen rakeistamiseen patarakeistuksella käytetyt laitteet.

Toisena rakeistusmenetelmänä juomajauhe kompaktoidiin ekstruuderilla ja jauhettiin rakeiksi. Ekstruuderin ruuvit puristivat jauhemassan kasaan paineen

avulla muodostaen kovia massapellettejä, jotka hienonnettiin tehosekoittimella. Kompaktoidessa ekstruuderiin ei lisätty vettä ja ekstruudointilämpötilana käytettiin 90 °C. Kuvassa 9 kompaktoitavat kaurapelletit puristetaan ekstruuderiruuviin välissä ja kerätään jauhettavaksi.



Kuva 9. Ekstruuderikompaktoidut kaurapellettien valmistus.

Sekoittuvuutta tutkittiin lisäämällä 10 g jauhetta 100 ml vettä ja sekoittamalla sitä magneettisekoittajalla ja tarkastellaan tämän jälkeen seosta visuaalisesti.

## 9. Tulokset

### 9.1 Esikokeet

Sekoitettaessa askorbiinihappoa sisältävää lesettä veteen, on vesiseoksessa otolliset olosuhteet oksidatiivisen pilkkonnan tapahtumiselle. Tällöin ei tiedetä varmuudella tapahtuuko reaktio ekstruuderissa vai vasta sekoitettaessa veteen. Jotta todellisen pilkkoutumisen määrä ekstruuderissa voidaan määrittää, pitää oksidatiivinen pilkkoutus estää vesiliuoksessa. Kirjallisuudessa mainitaan glukoosi esimerkkinä reaktiota inhihoivista yhdisteistä (Kivelä *et al.*, 2009a). Sokerin vaikutus vesiliuokseen määritettiin lisäämällä veteen 5 g sokeria ja 5 g lesettä, jolloin seos sisältää 0,5 g  $\beta$ -glukaania. Koska sokeria on kymmenkertainen määrä  $\beta$ -glukaaniin nähden, on se todennäköisempi kohde hydroksyyliiradikaaleille.

Askorbiinihappoa sisältävällä näytteellä, johon oli lisätty sokeria, viskositeetti oli kolminkertainen verrattuna näytteeseen, johon ei ollut lisätty sokeria. Käytettäessä suurempaa määrää sokeria, ei liuoksen viskositeetissa havaittu mainittavaa eroa, joten 5 g sokerilisäyksen päätellään riittäväksi reaktion sammuttamiseen.

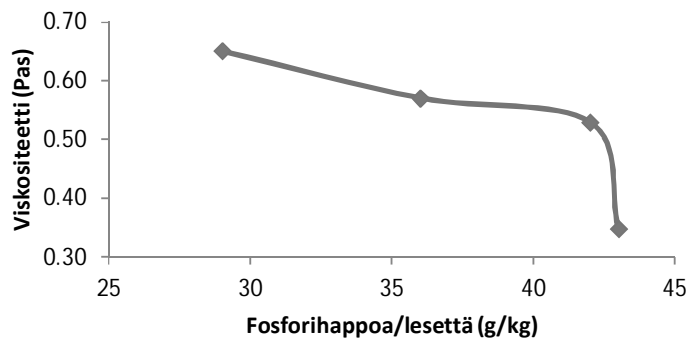
Näytteissä, jotka eivät sisältäneet lisättyä askorbiinihappoa, ei havaittu merkittävää eroa viskositeetissa sokerin lisäyksen seurauksena. Tästä voidaan päätellä, että sokeri ei itsessään nosta viskositeettia, mutta estää askorbiinihapon vaikutusta  $\beta$ -glukaaniin vedessä. Viskositeettimittaukset, joiden pohjalta arvio sokerin lisäyksen tarpeellisuudesta on tehty, on esitetty liitteessä 1.

Esikokeiden perusteella päätettiin lisätä 5 g sokeria kaikkiin näytteisiin määritettäessä käsitellyn leseän tuottamaa viskositeettia vesiseoksessa.

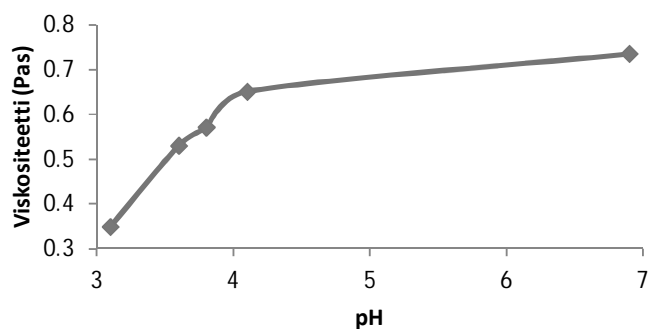
## **9.2 Kauraleseen beetaglukaanin muokkaus happohydrolyysillä**

Kauraleseen beetaglukaaniketjuja pyrittiin pilkkomaan ekstrudoimalla, altistaen leseän kuumuuden, paineen ja mekaanisen rasituksen lisäksi ekstruuderiin lisättävälle liuokselle, joka sisälsi eri pitoisuuksia fosforihappoa ja askorbiinihappoa. Ekstrudaateista määritettiin viskositeetti. Muutokset viskositeetissa oletettiin johtuvan muutoksesta beetaglukaaniketjussa.

Syötettäessä happoa ekstruuderiin, laski viskositeetti syötetyn happomäärän kasvaessa. Kuvassa 10 on esitetty syötetyn hapon määrän vaikutus leseän muodostamaan viskositeettiin vesiliuoksessa liitteen 2 mittaustulosten perusteella. Kuvassa 11 on esitetty pH:n vaikutus leseän tuottamaan viskositeettiin leikkausnopeudella 41 1/s. Kuvasta voidaan havaita viskositeetin romahdus pH:n ollessa alle 4. Lisättäessä happoa 43 g per 1 kg lesettä oli viskositeetti enää 47 % alkuperäisestä. Jos ekstrudoinnissa käytetään liuosta jolla leseän pH saadaan alle 3, riskinä on ekstruuderiruvien vahingoittuminen.



Kuva 10. Ekstruusioliuoksen happopitoisuuden vaikutus leseeseen muodostamaan viskositeettiin vesiliuoksessa leikkausnopeudella 41 1/s. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 25–29 °C.



Kuva 11. pH:n vaikutus leseeseen tuottamaan viskositeettiin leikkausnopeudella 41 1/s. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 25–29 °C.

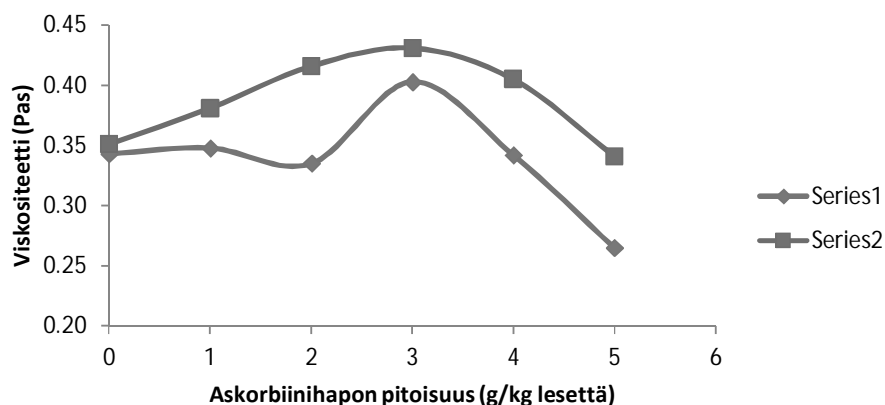
### 9.3 Kauraleseen beetaglukaanin muokkaus oksidatiivisella pilkkomisella

Askorbiinihapon vaikutus kauraleseen viskositeettiin tutkittiin kahdella eri liuossarjalla. Ensimmäinen liuossarja sisälsi 20 g fosforihappoa ja 0-5 g askorbiinihappoa 1 kg lesettä kohti. Toisessa liuossarjassa fosforihappoa oli 32 g/1 kg lesettä ja askorbiinihapon pitoisuutta muuteltiin välillä 0-10 g/1 kg lesettä. Askorbiinihapolla käsiteltyjen lesesarjojen viskositeettimittaukset on esitetty liitteessä 3.



Valitettavasti kokeiden välillä jouduttiin vaihtamaan lese-erää. Vaikka uusi lese-erä tuli samalta toimittajalta, oli uudella leseellä huomattavasti suurempi viskositeetti kuin vanhalla (140 % vanhaan verrattuna). Uudelle ja vanhalle leseelle mitatut viskositeetit on esitetty liitteessä 4. Koska käsittelemättömän leseen viskositeetti on eri, ei sarjoja voida suoraan verrata keskenään arvioitaessa tehokkainta käsittelymenetelmää. Lisäksi lese on hienojakoisempaa ja käytettäessä samaa leseen syöttönopeutta ekstrudoitaessa, lesesyöttö oli 40 g/min aiemman 30 g/min sijaan.

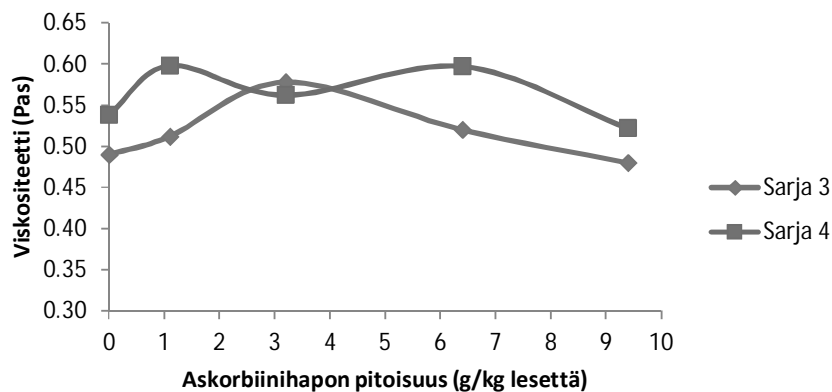
Ensimmäisen askorbiinihapposarjan tulosten perusteella on piirretty kuva 12. Kuvasta havaitaan, että askorbiinihapon läsnäolo suojelee lesetä fosforihappohydrolyysiltä ja suojaus on voimakkaimmillaan kun askorbiinihappoa on 3 g/l kg lesetä. Kuvaajan käyrä kääntyy loppua kohti laskuun, mikä johtuu luultavasti enemmän pH:n laskusta kuin mahdollisesta ekstruuderissa tapahtuvasta Fenton-reaktiosta.



Kuva 12. Askorbiini- ja fosforihappokäsitellyn vaikutus kauraleseen viskositeettiin leikkausnopeudella 41 1/s, kun fosforihappopitoisuus pidettiin vakiona 20 g/l kg lesetä. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 22–28 °C.

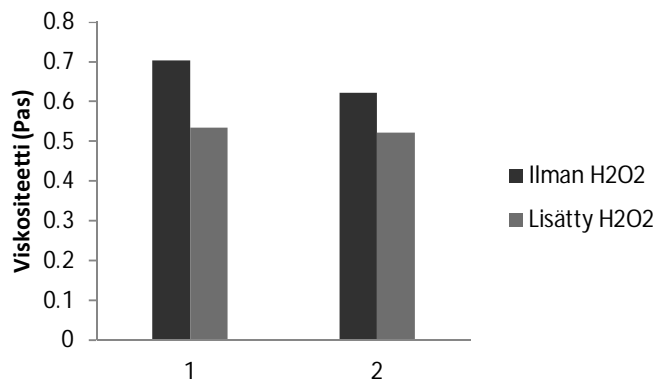
Vastaavanlainen kuvaaja tehtiin toisen askorbiinihapposarjan perusteella (kuva 13). Vaikka toisella mittauksella käyrässä tapahtui notkahdus 3 g askorbiinihappoa 1 kg lesetä kohti, noudattaa toinen askorbiinihapposarja samaa

kaavaa ensimmäisen kanssa. Askorbiinihappo suojelee myös väkevämmässä happoliuoksessa lesettä happohydrolyysiltä ja tehokkainta suojaus on kun askorbiinihappoa on 3 g/1 kg lesettä.



Kuva 13. Askorbiini- ja fosforihappokäsittelyn vaikutus kauraleseen viskositeettiin leikkausnopeudella 41 1/s, kun fosforihappopitoisuus pidettiin vakiona 32 g/1 kg lesettä. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittelyn aikana vaihteli välillä 21–25 °C.

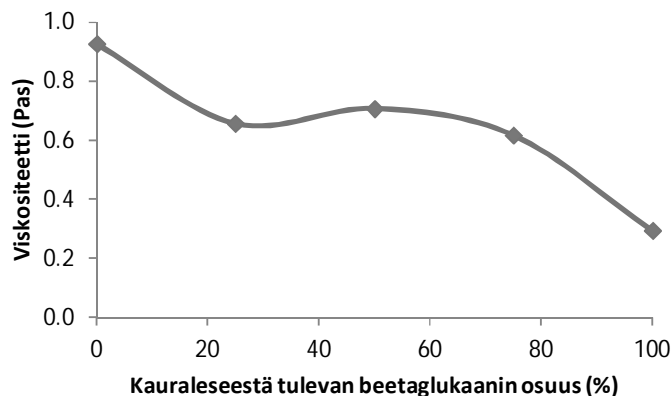
Vetyperoksidin on esitetty voimistavan oksidatiivista pilkkoutumista, sillä se toimii reaktiossa välituotteena reagoiden siirtymämetallin kanssa tuottaen hydroksyyli-radikaaleja. Vetyperoksidin vaikutusta testattiin vertaamalla kahta ekstrudaattiliuosta, joissa kummassakin on fosforihappoa 110 g/l ja 20 mM askorbiinihappoa. Toiseen liuokseen lisättiin myös 20 mM vetyperoksidia. Leseellä, johon oli lisätty  $H_2O_2$ , oli vesiliuoksessa alhaisempi viskositeetti kuin pelkällä askorbiinihapolla käsitellyllä leseellä. Vetyperoksidin vaikutus leseeseen viskositeettiin on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Vetyperoksidin vaikutus askorbiinihappokäsitellyn leseen viskositeettiin leikkausnopeudella 41 1/s. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 21–27 °C.

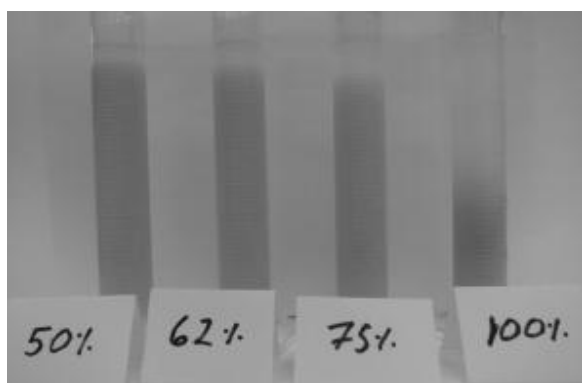
#### 9.4 Reseptin beetaglukaanilähteet ja tärkkelyslähteet

Kaurajuoman tulee sisältää 0,4 g  $\beta$ -glukaanin /100g vettä, jotta se täyttäisi EU:n hyväksymän terveystieteellisen, kun annoskooksi on otettu 250 ml. Tämän saavuttamiseksi jauheen tulee sisältää yhtä tai useampaa  $\beta$ -glukaaninlähdetä. Lisäksi on toivottavaa, että vähintään puolet juoman komponenteista on peräisin kaurasta, jotta voidaan puhua kaurajuomasta. Jokainen komponentti tuo oman vaikutuksensa juoman viskositeettiin ja näiden yhteisvaikutus on yleensä suurempi kuin osaviskositeettien summa. Kuvassa 15 on esitetty vesiseoksen viskositeetin muutos kolloidisen kaurajauhon ja käsitellyn kauraleseen eri pitoisuuksilla leikkausnopeudella 41,5/s liitteen 5 mittaus tulosten perusteella.



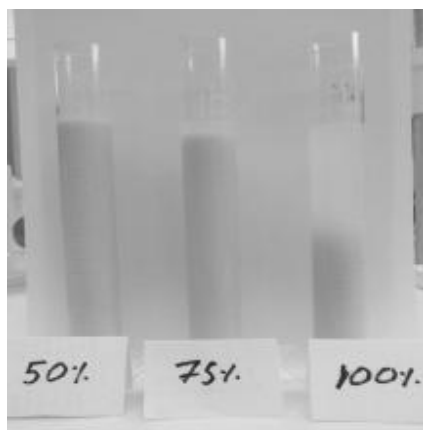
Kuva 15. Kauraleseen ja kolloidisen kaurajauhon yhteisvaikutus vesiseoksen viskositeettiin leikkausnopeudella 41,5/s. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 25–28 °C.

Vaatus juoman kaurapitoisuudesta täyttyä edellä kuvatussa seoksessa, kun enintään 75 %  $\beta$ -glukaanista tulee kauralesestä. Leseen laskeutuvuus vesiseoksessa on myös nopeampaa kuin kolloidisella kaurajauholla tai ydinjauholla. Tämä seikka tulee huomioida jauheseosta suunniteltaessa. Kauraleseen ja kolloidisen kauran laskeutuvuus vedessä on esitetty kuvassa 16. Kuvassa prosentit ilmoittavat kunkin seoksen leseestä tulevan  $\beta$ -glukaaniosuuden, kun  $\beta$ -glukaanin kokonaispitoisuudeksi on asetettu terveysväittämään tarvittava 0,4 g /100 ml.



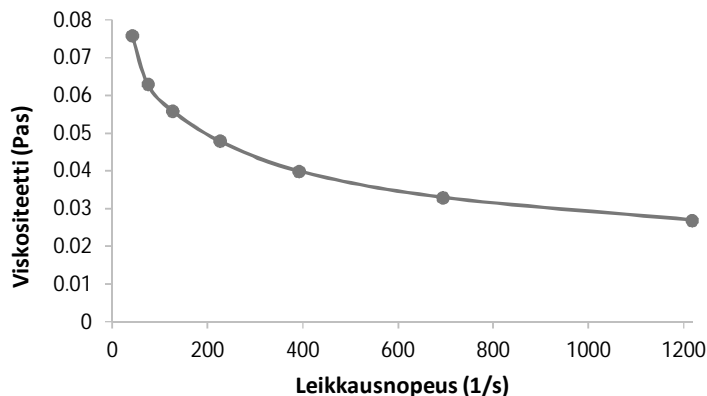
Kuva 16. Kolloidisen kaurajauhon ja kauraleseen seoksen laskeutuvuus vesiseoksessa. Ilmoitettu prosentiosuus on leseestä tulevan beetaglukaanin osuus kokonaisbeetaglukaanista.

Vastaava laskeutuvuuskoe tehtiin myös ydinjauholla, jonka laskeutuvuuden havaittiin olevan vähäisempää kuin täysjyväkaurajauholla. Tosin tämä voi johtua osittain ydinjauhon pienemmästä  $\beta$ -glukaanipitoisuudesta, jonka takia sitä täytyi käyttää seoksessa enemmän, jotta haluttu osuus  $\beta$ -glukaania täyttyisi. Kauraleseen ja kauraydinjauhon laskeutuvuus vedessä on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Kauraydinjauhon ja kauraleseen seoksen laskeutuvuus vesiseoksessa. Ilmoitettu prosenttiosuus on leseestä tulevan  $\beta$ -glukaanin osuus kokonaisbeetaglukaanista.

PromOat sisältää huomattavasti muita lähteitä enemmän  $\beta$ -glukaania. Sillä on samalla muita aineita alhaisempi viskositeetti  $\beta$ -glukaanipitoisuuden ollessa yhtä suuri. PromOatille on ilmoitettu yli 30 %  $\beta$ -glukaanipitoisuus, joten noin 1,35 g PromOatia 100 ml vettä kohden riittää kattamaan terveysväittämissä halutun  $\beta$ -glukaanipitoisuuden. PromOatin tuottama viskositeetti vesiseoksessa on kuitenkin vain murto-osa leseen tuottamasta viskositeetista vastaavassa  $\beta$ -glukaanipitoisuudessa. PromOatin tuottama viskositeetti vesiliuoksessa pitoisuudella 1,5 g/ 100 ml on esitetty kuvassa 18.

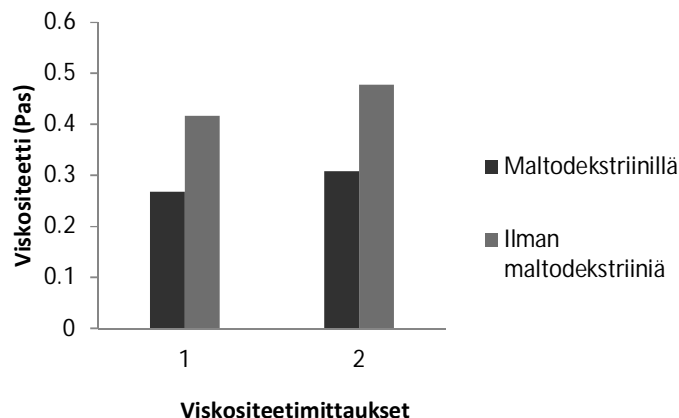


Kuva 18. PromOatin tuottama viskositeetti vesiseoksessa pitoisuudella 1,5 g/100 ml. Liuoksen lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana 28 °C.

PromOatin suuresta  $\beta$ -glukaanipitoisuudesta seuraa, että juomajauheessa joudutaan käyttämään paljon täyteaineita, jotka eivät sisällä  $\beta$ -glukaania ja kauraa, kuten maltodekstriiniä. Kun näiden aineiden osuus nousee suureksi, ei voida enää puhua kaurajuomasta. Tästä syystä PromOatia on vaikea käyttää kauraleseen tai kolloidisen kaurajauhon kanssa, jotka itsessään sisältävät paljon  $\beta$ -glukaania.

Swedish Oat Fiberin ydinjauhojen todettiin tuottavan hyvin paksuja seoksia sekoitettaessa veteen, joten niiden todettiin olevan soveltumattomia haluttuun kaurajuomajauhereseptiin.

Sen lisäksi, että maltodekstriini toimii jauheessa hiilihydraattipitoisena täyteaineena, sen havaittiin alentavan muodostuvan vesiseoksen viskositeettiä. Happokäsitellyllä leseellä, johon lisättiin puolet maltodekstriiniä, viskositeetti oli vesiseoksessa selkeästi alhaisempi, kuin ilman maltodekstriiniä. Tulokset maltodekstriinin vaikutuksesta viskositeettiin on esitetty kuvassa 19. Vastaavat mittaustulokset on esitetty liitteessä 6.

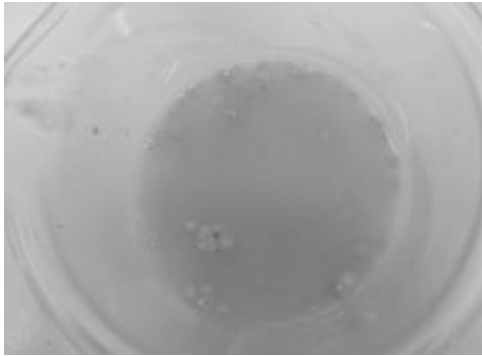


Kuva 19. Maltodekstriinin vaikutus happokäsitellyn leseen tuottamaan viskositeettiin leikkausnopeudella 41/s vesiseoksessa, jossa lesettä 5 g/100 ml. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 22–27 °C.

Tarkasteltaessa juoman viskositeettiin vaikuttavia ainesosia lisättiin jauheseokseen Nutriosen resistenttiä tärkkelystä. Resistentti tärkkelys luokitellaan ravintokuiduksi, ja sitä lisättiin juomaan niin, että kokonaiskuitupitoisuus ylittää Eviran asettaman vaatimuksen runsaskuituiselle tuotteelle (3 g/100 kJ). Tällä lisäyksellä ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta juoman viskositeettiin ja Nutriosea voidaan pitää varteen otettavana vaihtoehtona, jos juoman kuitupitoisuutta halutaan lisätä.

### 9.5 Agglomerointi

Agglomeroinnin tarkoituksena on saada jauhe sekoittumaan tasaisesti veteen. Agglomerointi on tarpeellista, koska kaurajauholla on taipumus muodostaa veteen sekoitettaessa veden pinnalle jauhopaakkuja, kuten kuvassa 20. Juoman tulee olla mahdollisimman helppo valmistaa ja paakkuuntumisesta on päästävä eroon, koska juoman halutaan olevan mahdollisimman homogeeninen.



Kuva 20. Veteen sekoitetun jauhon muodostamia paakkuja.

Viiden minuutin sekoituksen jälkeen ei havaittu merkittävää eroa lesitiinillisen ja lesitiinittömän kaurajauheen välillä. Kumpaankin oli sekoituksen jälkeen jäänyt muutamia jauhopaakkuja. Rakeistetun jauheen sekoittumisen havaittiin olevan erittäin riippuvainen rakeiden koosta. Suurien rakeiden hajoaminen veteen kestää kauan, mutta liian pieneksi jauhettaessa rakeistuksesta saatu hyöty menetetään. Patarakeistuksella saadut rakeet olivat huomattavasti pehmeämpiä, kuin kompaktoidut ja liukenivat huomattavasti nopeammin veteen. Kun kokeissa valittiin pieniä patarakeistuksella valmistettuja rakeita (kuva 21), saatiin ne liukenemaan veteen jopa kolmessa minuutissa.



Kuva 21. Patarakeistettu juomajauhe.

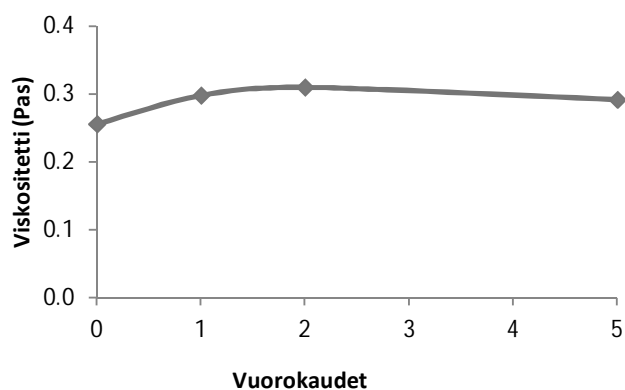
Kompaktoimalla saadaan valmistettua siistejä pieniä rakeita (kuva 22) mutta kovien rakeiden liukeneminen kesti 30 min.





Kuva 22. Kompaktoitu juomajauhe.

Agglomeroimattomalla jauheseoksesta valmistetulla juomalla määritettiin viskositeetin säilyvyys pitkällä aikavälillä sekoittamalla 20 g kaurajuomajauhetta 200 ml vettä. Näyte kiehausutettiin, annettiin jäähtyä ja säilytettiin jääkaapissa mittausten välillä. Tulokset on esitetty kuvassa 23. Vastaavat mittaustulokset on esitetty liitteessä 7. Mittausten perusteella ei havaittu viskositeetin mainittavaa romahdusta kylmäsäilytyksessä.



Kuva 23. Juoman viskositeetin muutos ajan funktiona leikkausnopeudella 41/s. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 18–22 °C.

## 10. Reseptiehdotukset ja niiden arviointi

Raaka-ainekokeiden perusteella luotiin kolme reseptiversiota kaurajuomajauheelle, joita suunniteltaessa pidettiin mielessä haluttu kaura- ja  $\beta$ -glukaanipitoisuus, pyrittiin säätämään rasvan osuus juomassa 1 %:iin, huomioimaan kalsiumin tarve ja täydennettiin puuttuva osa maltodekstriinillä. Makusyistä resepteihin lisättiin pienet määrät siirappia ja suolaa. Reseptissä 1 käytettiin  $\beta$ -glukaaninlähteenä käsiteltyä kauralesettä ja kolloidista täysjyväkaurajauhoa, koska näillä on monipuolisempi ravintokoostumus kuin muilla  $\beta$ -glukaani- ja tärkkelyslähteillä. Reseptin 1 ainesosat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 1 Reseptin 1 ainesosakoostumus

Ainesosa	Osuus jauheesta (%)
Maltodekstriini	42
Kauralese	18
Kolloidinen kaurajauho	32
Rypsiöljy	5
Siirappi	2
Suola	0,7
Kalsiumhydroksidi	0,35

Reseptiä laskettaessa on käytetty VTT:n määrittämää leseä  $\beta$ -glukaanipitoisuutta 12 % ja valmistettaessa juomajauhetta käytettiin ekstruuderissa happokäsiteltyä lesettä. Kalsiumin lähteenä käytetään kalsiumhydroksidia trikalsiumfosfaatin sijaan, sillä happokäsitelty lese laskee vesiliuoksen pH:ta ja emäksisellä kalsiumhydroksidilla voidaan pH säätää lähemmäs neutraalia.

Verrattaessa reseptistä 1 valmistettua juomaa kaupalliseen kaurajuomaan ovat molemmat ravintokoostumukseltaan hyvin samanlaisia. Juomajauhe sisältää vähemmän rasvaa säilyvyyden parantamiseksi. Pienempi rasvan määrä joudutaan korvaamaan suuremmalla määrällä hiilihydraatteja.

Reseptissä 2. kauralese ja kolloidinen kaurajauho on korvattu ydinjauholla ja PromOat-beetaglukaanikonsentraatilla, niin että nämä kattavat 50 % jauheen kokonaismassasta ja juoman haluttu 0,4 %  $\beta$ -glukaanipitoisuus täyttyy. Näiden raaka-aineiden etuna on, ettei erillistä  $\beta$ -glukaanin käsittelyvaihetta tarvita vaan voidaan suoraan siirtyä raaka-aineiden sekoitukseen. Reseptin 2 ainesosat on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Reseptin 2 ainesosakoostumus

Ainesosa	Osuus jauheesta (%)
Maltodekstriini	42
Ydinjauho	40,5
PromOat	9,5
Rypsiöljy	5
Siirappi	2
Suola	0,7
Trikalsiumfosfaatti	0,5

Koska tuotteen  $\beta$ -glukaanilähteet eivät laske juoman pH:ta, on kalsiumin lähteenä trikalsiumfosfaatti kalsiumhydroksidia parempi vaihtoehto.

Reseptissä 2 pääasiallisena  $\beta$ -glukaanilähteenä toimiva PromOat  $\beta$ -glukaanikonsentraatti sisältää  $\beta$ -glukaanin lisäksi pääasiassa tärkkelystä. Myös ydinjauho sisältää enemmän tärkkelystä ja vähemmän muita aineita kuin muut käytettävissä olevat kauralähteet. Tästä johtuen reseptissä 2 on muita reseptejä vähemmän proteiinia ja kokonaisravintokuitua.

Resepti 3 muistuttaa koostumukseltaan reseptiä 1, mutta kolloidinen kaurajauho on korvattu ydinjauholla, jolloin kauraleseen osuus tuotteessa saadaan suuremmaksi. Reseptin 3 koostumus on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Reseptin 3 ainesosakoostumus

Ainesosa	Osuus jauheesta (%)
Maltodekstriini	42
Kauralese	28
Ydinjauho	22
Rypsiöljy	5
Siirappi	2
Suola	0,7
Kalsiumhydroksidi	0,35

Resepti 3 muistuttaa ravintokoostumukseltaan paljon reseptiä 1, mutta koska ydinjauho sisältää huomattavasti kolloidista kaurajauhoa vähemmän  $\beta$ -glukaania, käsitellyn leseen pitoisuutta voidaan nostaa. Leseipitoisuuden noustessa pH laskee ja kalsiumhydroksidia tarvitaan sekä kalsiumlähteenä, että pH:n säätäjänä.

Reseptit 1, 2 ja 3 on suunniteltu siten, että 10 g jauhetta sisältää 0,4 g  $\beta$ -glukaania ja siitä voidaan valmistaa 100 ml kaurajuomaa. Tällöin terveysväittämissä haluttu  $\beta$ -glukaanipitoisuus täyttyy, kun annoskooksi valitaan 250 ml. Taulukossa 6 on esitetty eri resepteistä valmistettujen juomien ravintokoostumukset ja verrattu niitä kaupalliseen kaurajuomaan.

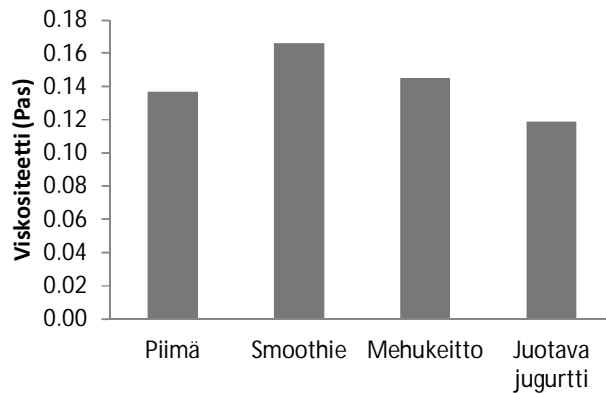
Taulukko 6. Resepteillä 1, 2 ja 3 valmistettujen juomien ravintokoostumus per 100 g verrattuna kaupalliseen kaurajuomaan

	Resepti 1	Resepti 2	Resepti 3	Oatly kaurajuoma
Energiaa	178 kJ/42 kcal	179 kJ/43 kcal	178 kJ/42 kcal	190 kJ/45 kcal
Rasvaa	0,9 g	0,8 g	0,9 g	1,5 g
joista tyydyttyneitä	0,1 g	0,1 g	0,1 g	0,2 g
Hiilihydraatteja	7,2 g	7,9 g	7,3 g	6,5 g
joista sokereita	4,4 g	4,3 g	4,4 g	4 g
Ravintokuitua	0,8 g	0,5 g	0,7 g	0,8 g
Proteiinia	0,8 g	0,6 g	0,8 g	1 g

### 10.1 Kehitettyjen reseptien vertaus kaupallisiin tuotteisiin

Kaupalliset juomat voidaan jakaa kahteen ryhmään viskositeettinsa perusteella. Ensimmäisen ryhmän muodostavat juomat joiden viskositeetti on hyvin matala. Tällaisia ovat esimerkiksi vesi, mehut, maito ja kasvipohjaiset maidonkaltaiset juomat. Näitä juomia nautitaan yleensä jano- tai ruokajuomina.

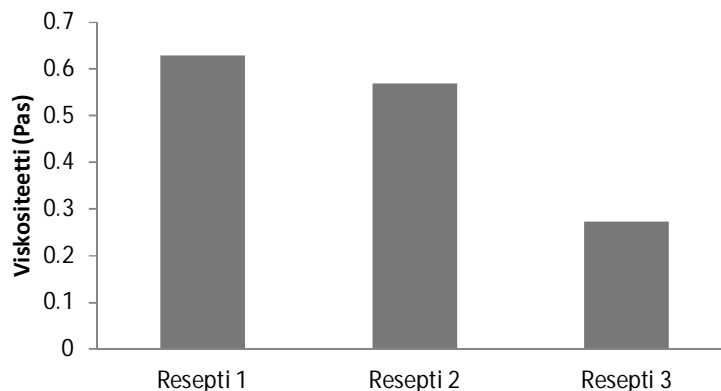
Toinen ryhmä on juotavat välipalat, kuten smoothiet ja juotavat jugurtit. Näillä juomilla on huomattavasti suurempi viskositeetti. Korkeampi viskositeetti lisää kylläisyyden tunnetta, joka sopii paremmin tämän tyyppisille tuotteille. Erilaisille kaupallisille juomille mitatut viskositeetit on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Kaupallisten juomien viskositeetteja leikkausnopeudella 41 1/s. Juomien lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 20–24 °C.

Kauran terveysvaikutukset perustuvat  $\beta$ -glukaanin tuottamaan viskositeettiin. Joten kun halutaan  $\beta$ -glukaanipitoinen kaurajuomajauhe, ei viskositeetista voida täysin hankkiutua eroon. Tämän takia  $\beta$ -glukaanipitoisesta kaurajuomajauheesta valmistetut juomat soveltuvat enemmän juotaviksi välipaloiksi kuin ruokajuomiksi, ja niitä voidaan pitää rakenteeltaan yhtenä vertailukohtana tuotetta kehitettäessä.

Reseptien 1, 2 ja 3 pohjalta valmistetuista juomajauheista valmistettiin juoma, joka sisälsi jauhetta 10 g/ 100 g vettä. Seoksesta määritettiin viskositeetti, pH ja laskeutuvuus. Kuvassa 25 on esitetty eri resepteillä valmistettujen juomien viskositeetit kuumennuksen ja jäähdytyksen jälkeen leikkausnopeudella 41 1/s.



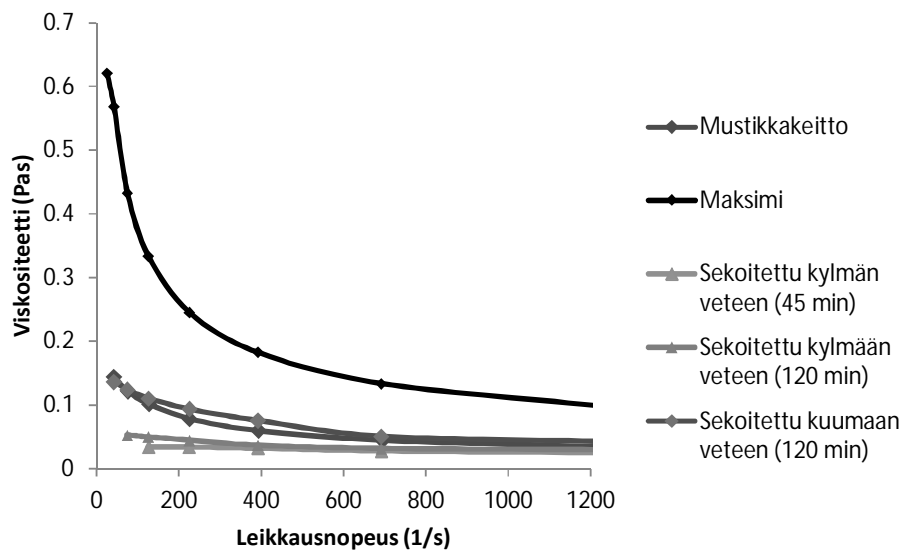
Kuva 15. Esitettyjen reseptien tuottamat viskositeetit vesiseoksessa leikkausnopeudella 41 1/s. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 21–25 °C.

Reseptillä 3 valmistetulla juomalla on huomattavasti alhaisempi viskositeetti kuin kahdella muulla reseptillä ja se on ainoa, jonka viskositeetti on samaa suuruusluokkaa kaupallisten välipalajuomien kanssa. Myös tällä reseptillä valmistettu juoma jää huomattavan viskoosiksi verrattuna Oatlyn kaurajuomaan, joka on viskositeetiltään hyvin lähellä vettä. Reseptin 1 juoman viskositeetti on hyvin korkea, koska lähes puolet reseptin  $\beta$ -glukaanista tulee kolloidisesta kaurajauhasta, jonka  $\beta$ -glukaania ei ole käsitelty. Jos kauralese sisältäisi vähemmän  $\beta$ -glukaania, reseptissä voitaisiin käyttää enemmän lesettä kattamaan haluttua kaurapitoisuutta ilman, että haluttu  $\beta$ -glukaanipitoisuus ylittyy ja sitä kautta laskea juoman viskositeettia.

Myös reseptin 2 juoman viskositeetti jäi hyvin korkeaksi. Tämä johtuu todennäköisesti pääasiassa seoksen muita reseptejä korkeammasta tärkkelyspitoisuudesta. Resepti 2 sisältää eniten hiilihydraatteja, mutta reseptin sokeripitoisuus on alhaisempi kuin muilla resepteillä.

Tarkasteltaessa reseptien viskositeetteja on myös syytä miettiä jauheen käyttötarkoitusta, sillä saatu viskositeetti on jauheen maksimiviskositeetti. Kuitenkin, jos jauhe on tarkoitettu välipalaksi, juoma nautitaan todennäköisesti pian valmistamisen jälkeen. Tällöin juoman viskositeetti ei ehdi nousta kovin korkeaksi. Kun reseptin 2 jauhe sekoitettiin kylmään ja kuumaan veteen ja

määritettiin viskositeetti 2 h sisällä sekoittamisesta, ei viskositeetti ollut ehtinyt vielä nousta huippuunsa kummassakaan tapauksessa ja juoman viskositeetti muistutti pitkälti mustikkakeitolle mitattua vastaavaa. Reseptin 2 viskositeettimääritysten pohjalta on tehty kuva 26 ja tulokset on esitetty liitteessä 8.

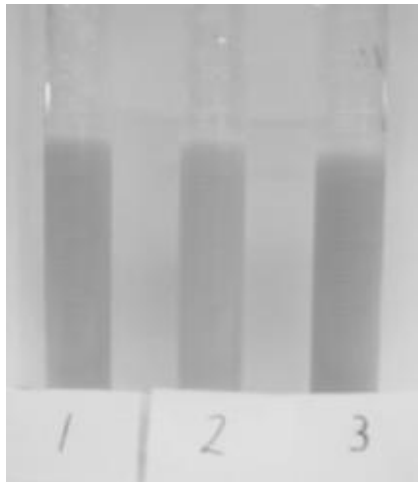


Kuva 26. Reseptin 2 viskositeetti eri leikkausnopeuksilla 45 ja 120 min päästä sekoittamisesta veteen. Liuosten lämpötila viskositeetin määrittämisen aikana vaihteli välillä 20–26 °C.

## 10.2 Reseptiehdotuksista valmistettujen juomien laskeutuvuus

Viskositeetin lisäksi laskeutuvuus vesiseoksessa on tärkeä ominaisuus reseptin soveltuvuutta kaupalliseksi tuotteeksi arvioitaessa. Jokaisella reseptillä laskeutuvuus oli hyvin vähäistä. Reseptien jauheseoksien laskeutuvuus vesiseoksessa on esitetty kuvassa 27.





Kuva 27. Esitettyjen reseptien laskeutuvuus vesiseoksessa.

Mitä suurempi osa  $\beta$ -glukaanista tulee happohydrolysoidusta leseestä, sitä alhaisempi pH jauheesta valmistetulla juomalla on. Resepti 2 ei sisällä ollenkaan käsiteltyä lesettä ja sen pH on 6,3. Resepti 3 sisältää eniten käsiteltyä lesettä ja sen pH on 5,1. Reseptissä 3 on käytetty erittäin emäksistä kalsiumhydroksidia neutraloimaan hapon vaikutuksia, mutta juomajauhe on silti selvästi happamampi, kuin reseptillä 2 valmistettu.

Reseptin 3 viskositeetti on erittäin riippuvainen leseen esikäsittelystä viskositeetin laskemiseksi. Koska kaura on maultaan hyvin mieto, tulevat haposta johtuvat muutokset maussa helposti esiin, varsinkin kun leseen käsittelyssä on käytetty suhteellisen paljon happoa. Reseptissä 3 käytetty lese sisältää 40 g happoa/ kg lesettä jolloin reseptin 3 juomajauhe sisältää 1 % fosforihappoa, joka tulee leseen käsittelystä. Tällöin jauheesta valmistettu juoma sisältää 1 g fosforihappoa per 1 l juomaa. Tämä ylittää EU:n asettaman fosforihapon sallitun rajan juomissa, joka on 700 mg/l. (EU, 1995) Koska käsittelyssä on käytetty yli sallitun määrän happoa, ei lopullinen reseptin 3 viskositeetti ole yhtä alhainen kuin mitattu.

## 11. Tulosten tarkastelu

Kaiken kaikkiaan viskositeettimäärytyksistä saadut tulokset ovat keskenään hyvin johdonmukaisia yksittäisiä pisteitä lukuun ottamatta. Hapon määrän lisääminen laski odotetusti viskositeettiä, mutta viskositeetin lasku jäi huomattavasti odotettua pienemmäksi ja  $\beta$ -glukaanin pilkkoutuminen oli huomattavasti vähäisempää kuin aikaisemmissa julkaisuissa. (Kaukovirta-Norja *et al.*, 2009) Tästä voidaan päätellä, että happohydrolyysi vaatii toimiakseen enemmän vettä, ja käsittelyn jälkeen tarvitaan kuivausmenetelmä.

Lisättäessä happoa 42 g per 1 kg lesettä oli viskositeetti enää 72 % alkuperäisestä. Tästä ekstrudaatista määritettiin VTT:n toimesta  $\beta$ -glukaanin molekyylipainot. Molekyylipainomittausten tulokset olivat linjassa saatujen viskositeettitulosten kanssa.  $\beta$ -glukaanin keskimääräinen molekyylipaino oli 70 % verrattaessa ekstrudoimattomaan leseeseen. VTT:n molekyylipainotulokset on esitetty liitteessä 9.

Molemmissa askorbiinihappo sarjoissa leseen viskositeetti oli korkeimmillaan kun askorbiinihapon määrä oli 3g /1 kg lesettä. Tämä selittyy askorbiinihapolle esitetystä kaksoisvaikutuksesta. Pienillä pitoisuuksilla askorbiinihappo edistää hapettumista, mutta toimii suuremmilla pitoisuuksilla pelkistimenä. (Kivelä *et al.*, 2009b) Koska kokeissa käytetty fosforihappo on pelkistävä happo, on mahdollista, että fosforihappo ja vähäisen pitoisuuden askorbiinihappo haittaavat toistensa toimintaa. Oksidatiivisen pilkonnan käynnistyminen vaatii vetyperoksidin muodostumisen raudan tai askorbiinihapon välityksellä. (yhtälöt 1,2 ja 5) Tämä voi tapahtua ekstruderissa liian hitaasti, ja on osoitettu, että reaktiota voidaan nopeuttaa lisäämällä seokseen vetyperoksidia. (Fry, 1998) Tämä havaittiin myös kokeellisen työn aikana. Oksidatiivisessa pilkonnassa, kuten myös happohydrolyysissä, ekstrudaatin kosteuden nostaminen saattaisi tehostaa prosessia.

Työn kannalta viskositeettimittauksissa on monia seikkoja, jotka häiritsevät tulosten vertailtavuutta. Ensimmäisenä ja selkeimpänä seikkana on lese-erän vaihtuminen työn aika. Lese-erät poikkesivat toisistaan merkittävästi. Uudella

leseellä oli käsittelemättömänä selkeästi korkeampi viskositeetti ja se oli vanhaa erää hienojakoisempaa. VTT määritti uudesta leseestä  $\beta$ -glukaanipitoisuuden, joka oli 11,8 +/- 0,1 g ilmoitetun 10 % sijaan. Ero viskositeetissa johtuu luultavasti tästä syystä. Hienojakoisuus näkyi selkeästi ekstrudoinnissa, jolloin samalla syöttöruuvien nopeudella oli uuden leseeseen syöttönopeus 33 % suurempi kuin vanhalla leseellä. Lisäksi uusi lese kasaantui herkemmin ekstruuderin syöttöaukolle tukkien sen.

Käsittelemättömän leseeseen viskositeettierojen takia eri erillä tehtyjä kokeita ei voinut suoraan verrata keskenään. Viskositeetin muodostuminen vaikuttaa olevan paljolti riippuvainen ajasta. Maksimiviskositeetin muodostumiseen menee paljon aikaa, koska  $\beta$ -glukaanin täytyy päästä irtoamaan leseestä ja liukenemaan veteen. Tätä prosessia voidaan nopeuttaa kuumentamalla seosta. Tällöin viskositeetin muodostuminen on riippuvainen kuumennus- ja jäähdytysajasta. Näitä aikoja ei saatu pidettyä täysin vakioina työn aikana. Tästä johtuen eri kerroilla tehdyt kokeet antoivat erisuuruisia tuloksia, mutta koesarjojen sisällä erot pysyivät samanlaisina.

PromOatilla on kauralesettä huomattavasti alhaisempi viskositeetti, mutta juomalla, joka oli valmistettu reseptin 2 mukaan, oli hyvin korkea viskositeetti. Viskositeetin muodostumiseen vaikuttaa  $\beta$ -glukaanin lisäksi hyvin paljon seoksen tärkkelys- ja proteiinipitoisuus, sekä  $\beta$ -glukaanin yhteisvaikutus näiden kanssa. (Liu *et al.*, 2010)

Laskeutuvuudesta ja liukoisuudesta tehdyt kokeet olivat kaikki visuaalisia ja siten niiden tulokset ovat tulkinnanvaraisia, mutta antavat kuitenkin kuvan tuotteen käyttäytymisestä.

Eräs puoli, jota työssä ei käsitelty, mutta joka on erittäin tärkeä kun kyseessä on elintarvikkeeksi tarkoitettu tuote, on aistinvarainen arvio ja erityisesti makukokeet. Aistinvarainen arviointi antaa oleellista tietoa kuluttajan näkemyksistä tuotetta kohtaan ja näillä tiedoilla on suuri merkitys kun tuotetta lähdetään kehittämään prototyypistä kaupan hyllylle. Koska kauran maku on neutraali, makutesti on erityisen tärkeä, jotta tuote vastaa kuluttajan odotuksia.

Aistinvarainen arvio auttaisi myös arvioitaessa tuotteen käyttöä kuluttajalla. Jos haluttu tuote on juotava välipala, kuluttaja todennäköisesti sekoittaa sen juuri ennen juomista. Tällöin voidaan pohtia tarvitseeko kauran viskositeettia leikata yhtä rajusti, kuin tämän työn kokeissa on tehty, koska viskositeetti ei todennäköisesti ehdi nousta huippuunsa ennen juoman nauttimista.

## 12. Yhteenveto

Leseen  $\beta$ -glukaania onnistuttiin leikkaamaan vähäisessä vedessä ekstrudoimalla, hyödyntäen happohydrolyysiä. Happohydrolyysissä pilkkoutuminen oli kuitenkin huomattavasti odotettua vähäisempää ja leseeseen jouduttiin lisäämään suhteellisen paljon fosforihappoa, jotta leseen viskositeetti saatiin romahtamaan. Oksidatiivinen pilkonta käyttäen askorbiinihappoa ei tuottanut haluttua tulosta. Merkkejä pilkkoutumisesta oli kuitenkin havaittavissa, kun lesetä käsiteltiin liuoksella, joka sisälsi askorbiinihappoa ja vetyperoksidia. Vesimäärän lisäämisellä ekstruuderissa saavutetaan parempia tuloksia  $\beta$ -glukaanin pilkonnassa, mutta nämä nostavat kustannuksia kuivauksen osalta.

Keskeisenä havaintona kaurajuomajauhetta kehitettäessä huomattiin, että pelkällä  $\beta$ -glukaanin muokkauksella ei saada valmistettua alhaisen viskositeetin omaavaa juoma. Tärkkelyspitoisuudella on myös suuri vaikutus juoman viskositeettiin.  $\beta$ -glukaani ja tärkkelys yhdessä tuottavat vedessä viskoosin seoksen. Jotta sopiva kaurajuomajauhe voitaisiin kehittää, pitää myös tärkkelystä käsitellä.

Viimeisenä osa-alueena työssä tutkittiin juomajauheen agglomerointia jauheen sekoittuvuuden parantamiseksi kylmässä ja kuumassa vedessä. Patarakeistetun jauheseoksen havaittiin sekoittuvan hyvin veteen, kun suuret rakeet jauhettiin pienemmiksi. Kompaktoidessa juomajauhetta ekstruuderilla saatiin kovempia rakeita, kuin patarakeistuksella ja nämä rakeet liukenivat veteen hyvin hitaasti.

### 13. Jatkotutkimusehdotukset

Kaurajuomajauheen kehityksessä keskeisessä roolissa on kauran  $\beta$ -glukaanin käsittely. Vaikka työn aikana tehtiin paljon tutkimusta  $\beta$ -glukaanin muokkaamiseksi, ei käytettävissä olleen ajan takia oksidatiivisesta pilkkoutumisesta ehditty tutkia kaikkia seikkoja. Kokeissa havaittiin vetyperoksidin ja askorbiinihapon yhteisvaikutuksen pilkkovan  $\beta$ -glukaania myös vähäisessä vedessä, mutta käytettävissä olleen ajan puitteissa ei kokeissa ehditty käyttää kuin yhtä vetyperoksidipitoisuutta. Lisätutkimusta tarvitaan vetyperoksidi- ja askorbiinihappopitoisuuden optimoimiseksi sekä ekstruusion pH:n ja lämpötilan vaikutusten arvioimiseksi.

Myös ekstruuderin käyttö jauhemassan kompaktointiin vaatii lisää tutkimusta. Vaikka kompaktoimalla valmistetut rakeet liukenivat veteen huomattavasti hitaammin kuin siirapilla rakeistetut, saatiin nekin lopulta liukenemaan. Paremmalla kompaktointiparametreilla on mahdollista tuottaa pehmeämpiä ja huokoisempia rakeita ja siten parantaa rakeiden liukoisuutta veteen. Kompaktointimahdollisuuden tarkempi tutkiminen on kannattavaa juomajauheen valmistamisen kannalta, sillä silloin ei tarvita erillistä laitteistoa rakeistukseen.

Eräs potentiaalinen jatkotutkimusten kohde on alhaisen viskositeetin kaurajuomajauhe, jonka ei tarvitse sisältää terveystähtämisen vaatimaa määrää  $\beta$ -glukaania. Vaikka tällainen tuote ei täytä terveystähtämiä, on se varteenotettava kasvipohjainen vaihtoehto maitojauheelle. Monet kokeellisen työn tuloksista ovat hyödynnettävissä myös tämän tuotteen kehityksessä ja aiheeseen kannattaa perehtyä tarkemmin, koska se voi antaa lisää ymmärrystä kauran muodostamaan viskositeettiin vaikuttavista tekijöistä.

Kun suunnitellaan kaupallista tuotetta, eräs tärkeimmistä seikoista on tuotteen teollinen valmistaminen. Diplomityön puitteissa ei ole ehditty suorittamaan teollisen mittakaavan tuotantokokeita, jotka ovat luonnollinen seuraava askel tuotteen kehityksessä.

## Lähteet

Anon, Kaurahiutale – Fineli <http://www.fineli.fi/food.php?foodid=153&lang=fi>  
20.3.2014a

Anon, Oatly Kaurajuoma Kalsium <http://www.oatly.fi/tuotteet/oatly-kaurajuoma-kalsiumia> 24.2.2014b

Anon, Soija maustamaton, <http://www.alpro.com/fi/maustamaton-soija>  
24.2.2014c

Anon, Valio kevytmaito, <http://www.valio.fi/tuotteet/maidot/valio-kevytmaito/>  
24.2.2014d

Anon, Vehnähiutale – Fineli <http://www.fineli.fi/food.php?foodid=114&lang=fi>  
20.3.2014e

Andersson, A., Börjesdotter, D., Effects of environment and variety on content and molecular weight of  $\beta$ -glucan in oats, *Journal of Cereal Science* **54** (2011) 122-128.

Anttila, H., Sontag-Strohm, T., Salovaara, H., Viscosity of beta-glucan in oat products, *Agricultural and food science* **13** (2004) 80-87.

Bogacheva, T., Wang, Y., Hedley, C., The Effect of Water Content on the Ordered/Disordered Structures in Starch, *Biopolymers* **58** (2001) 247-259.

Brennan, C., Cleary, L., The potential use of cereal (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans as functional food ingredients, *Journal of Cereal Science* **42** (2005) 1-13.

Brennan, J., Mixing, Emulsification and Size Reduction, Teoksessa *Food Processing Handbook*, toim. J. G. Brennan, Wiley-VCH, Saksa, 2006, 513-558.

Camire, M., Flint, S., Thermal processing effects on dietary fiber composition and hydration capacity in corn meal, oat meal, and potato peels, *Cereal Chemistry* **68** (1991) 645-647.

EU, EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL DIRECTIVE No 95/2/EC of 20 February 1995 on food additives other than colours and sweeteners, *Official Journal of European Union* **L 61** (1995) 1-63.

EU, Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods, *Official Journal of European Union* **L 404** (2006) 9-25.

EU, Commission Regulation (EU) No 1160/2011 of 14 November 2011 on the authorisation and refusal of authorisation of certain health claims made on foods and referring to the reduction of disease risk Text with EEA relevance, *Official Journal of European Union* **L 296** (2011) 26-28.

EU, Commission Regulation (EU) No 432/2012 of 16 May 2012 establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health Text with EEA relevance, *Official Journal of European Union* **L 136** (2012) 1-40.

Evira, Gluteenittomat ja erittäin vähägluteeniset elintarvikkeet <http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/valmistus+ja+myynti/erityisruokavalio+valmisteet/gluteenittomat+ja+erittain+vahagluteeniset+elintarvikkeet/> 19.3.2014

Faure, A., Knüsel, R., Nyström, L., Effect of the temperature on the degradation of  $\beta$ -glucan promoted by iron(II), *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* **2** (2013) 99-107.

FDA, Food labeling: Health claims; Oats and coronary heart disease. Final Rule *Federal registry* **62** (1997) 3584-3601.

Fry, S., Oxidative scission of plant cell wall polysaccharides by ascorbate-induced hydroxyl radicals, *Biochemical journal* **332** (1998) 507-515.

Ghosal, S., Indira, T., Bhattacharya S., Agglomeration of a model food powder: Effect of maltodextrin and gum Arabic dispersion on flow behavior and compacted mass, *Journal of Food Engineering* **96** (2010) 222-228.

- Gutkoski, L., El-Dash, A., Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products, *Plant Foods for Human Nutrition* **54** (1999) 315-325.
- Heneen, W., Banas, A., Leonova, S., Carlsson, A., Marttila, S., Debski, H., Stymne, S., The distribution of oil in the oat grain, *Plant Signaling & Behavior* **4** (2009) 55-56.
- Jinapong, N., Supphantharika, M., Jamnong, P., Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration, *Journal of Food Engineering* **84** (2008) 194-205.
- Kaukovirta-Norja, A., Lehtinen, P., Virkajärvi, I., Suortti, M., Myllymäki, O., Helin, J., Olonen, Anne., Method of processing beta-glucan, WO2009077659, 2009.
- Kivelä, R., Gates, F., Sontag-Strohm, T., Degradation of cereal beta-glucan by ascorbic acid induced oxygen radicals, *Journal of Cereal Science* **49** (2009a) 1-3.
- Kivelä, R., Nyström, L., Salovaara, H., Sontag-Strohm, T., Role of oxidative cleavage and acid hydrolysis of beta-glucan in modelled beverage condition, *Journal of Cereal Science* **50** (2009b) 190-197.
- Kivelä, R., Pitkänen, L., Laine, P., Aseyev, V., Sontag-Strohm, T., Influence of homogenization on the solution properties of oat  $\beta$ -glucan, *Hydrocolloids* **24** (2010) 611-618.
- Kivelä, R., Sontag-Strohm, T., Lopenen, J., Tuomainen, P., Nyström, L., Oxidative and radical mediated cleavage of  $\beta$ -glucan in thermal treatments, *Carbohydrate Polymers* **85** (2011) 645-652.
- Lindahl, L., Ahlden, I., Öste, R., Sjöholm, I., Homogeneous and stable cereal suspension, WO 1995007628, 1995.
- Liu, Y., Bailey, T., White, P., Individual and Interactional Effects of  $\beta$ -Glucan, Starch, and Protein on Pasting Properties of Oat Flours, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **58** (2010) 9198-9203.



- O'sullivan, A., Cellulose: the structure slowly unravels, *Cellulose* **4** (1997) 173-207.
- Plunkett, A., Ainsworth, P., The influence of barrel temperature and screw speed on the retention of L-ascorbic acid in an extruded rice based snack product, *Journal of Food Engineering* **78** (2007) 1127-1133.
- Rajniak, P., Stepanek, F., Dhanasekharan, K., Fan, R., Mancinelli, C., Chern, R., A combined experimental and computational study of wet granulation in a Wurster fluid bed granulator, *Powder Technology* **189** (2009) 190-201.
- Roubroeks, J., Mastromauro, D., Andersson, R., Christensen, B., Åman, P., Molecular Weight, Structure, and Shape of Oat (1→3),(1→4)-β-glucan fractions obtained by enzymatic degradation with lichenase, *Biomacromolecules* **1** (2000) 584-591.
- Saibene, D., Seetharaman, K., Amylose involvement in the amylopectin clusters of potato starch granules, *Carbohydrate Polymers* **82** (2010) 376-383.
- Salovaara, H., Sontag-Strohm, T., Anttila, H., Physical state of soluble oat fibre and health claims, Teoksessa *Dietary fibre components and functions*, toim. H. Salovaara, F. Gates, M. Tenkanen, Wageningen Academic Publishers, Alankomaat, 2007, ss. 91-112.
- Sibakov, J., Myllymäki, O., Suortti, T., Kaukovirta-Norja, A., Lehtinen, P., Poutanen, K., Comparison of acid and enzymatic hydrolyses of oat bran β-glucan at low water content, *Food Research International* **52** (2013) 99-108.
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L., Nutritional aspects of food extrusion: a review, *International journal of Food Science and Technology* **42** (2007) 916-929.
- Stampfli, L., Nersten, B., Emulsifiers in bread making, *Food Chemistry* **52** (1995) 353-360.
- Tester, R., Karkalas, J., Qi, X., Starch—composition, fine structure and architecture, *Journal of Cereal Science* **39** (2004) 151-165.

Tosh, S., Brummer, Y., Wood, P., Wang, Q., Weisz J., Evaluation of structure in the formation of gels by structurally diverse (1-3)(1-4)- $\beta$ -D-glucans from four cereal and one lichen species, *Carbohydrate Polymers* **57** (2004) 249-259.

Waigh, T., Gidley, M., Komanshek, B., Donald, A., The phase transformations in starch during gelatinization: a liquid crystalline approach, *Carbohydrate Research* **328** (2000) 165-176.

Wang, L., Gawthrop, P., Chessari, C., Podsiadly, T., Giles, A., Indirect approach to continuous time system identification of food extruder, *Journal of Process Control* **14** (2004) 603-615.

Wood, P., Relationship between solution properties of cereal  $\beta$ -glucan and physiological effects – A review, *Trends in Food Science & Technology* **13** (2002) 313-320.

Wood, P., Cereal  $\beta$ -glucans in diet and health, *Journal of Cereal Science* **46** (2007) 230-238.

Würsch, P., Pi-Sunyer, F., The Role of Viscous Soluble Fiber in the Metabolic Control of Diabetes: A review with special emphasis on cereals rich in  $\beta$ -glucan, *Diabetes care* **20** (1997) 1774-1780.

Zhou, M., Robards, K., Glennie-Holmes, M., Helliwell, S., Fatty Acid Composition of Lipids of Australian Oats, *Journal of Cereal Science* **28** (1998a) 311-319.

Zhou, M., Robards, K., Glennie-Holmes, M., Helliwell, S., Structure and Pasting Properties of Oat Starch, *Cereal Chemistry* **75** (1998b) 273-281.

LIITE 1 (1/2)

**Sokerinlisäyksen vaikutus ekstrudaatin tuottamaan viskositeettiin vesiliuoksessa**

Taulukko 1. Viskositeetti 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä, kun liuokseen on lisätty 5 g sokeria. Ekstrudaatti sisältää 32,25 g fosfosrihappoa ja 3,22 g c-vitamiinia 1 kg lesettä kohti. Liuoksen pH=3,9

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas) Näyte 1	Viskositeetti (Pas) Näyte 2
23,0	0,758	0,846
41,4	0,586	0,618
74,1	0,419	0,443
125,3	0,308	0,328
224,3	0,217	0,235
390,6	0,156	0,164
691,9	0,110	0,113
1216	0,079	0,079

Taulukko 2. Viskositeetti 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä, ilman sokerinlisäystä. Ekstrudaatti sisältää 32,25 g fosfosrihappoa ja 3,22 g c-vitamiinia 1 kg lesettä kohti. Liuoksen pH=3,9

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas) Näyte 1	Viskositeetti (Pas) Näyte 2
23,1	0,248	0,233
41,2	0,215	0,196
74,3	0,175	0,163
125,7	0,150	0,141
224,4	0,125	0,120
390,8	0,101	0,097
692,2	0,081	0,079
1216	0,064	0,063

Taulukko 3. Viskositeetti 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä, kun liuokseen on lisätty 5 g sokeria. Ekstrudaatti sisältää 41,5 g fosfosrihappoa 1 kg lesettä kohti. Liuoksen pH=3,5

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
23,2	0,526	23,6
41,4	0,469	23,3
74,3	0,343	23,2
125,9	0,258	23,0
224,8	0,186	23,1
391,5	0,138	23,1
692,6	0,097	23,0
1217	0,070	23,0

**Sokerinlisäyksen vaikutus ekstrudaatin tuottamaan viskositeettiin vesiliuoksessa**

Taulukko 4. Viskositeetti 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä, ilman sokerinlisäystä. Ekstrudaatti sisältää 41,5 g fosfosrihappoa 1 kg lesettä kohti. Liuoksen pH=3,5

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
24,3	0,468	23,8
41,4	0,403	23,6
74,2	0,306	23,4
125,8	0,234	23,2
225,0	0,172	23,2
391,6	0,128	23,2
693,5	0,094	23,1
1219	0,066	23,1

Taulukko 5. Viskositeetti 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä, kun liuokseen on lisätty 5 g sokeria. Ekstrudaatti sisältää 32,25 g fosfosrihappoa ja 3,22 g c-vitamiinia 1 kg lesettä kohti. Liuoksen pH=3,9

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
23,6	0,627	23,6
41,3	0,496	23,6
74,2	0,360	23,6
125,7	0,268	23,5
224,8	0,191	23,6
390,7	0,144	23,6
692,0	0,101	23,5
1216	0,070	23,5

Taulukko 6. Viskositeetti 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä, kun liuokseen on lisätty 10 g sokeria. Ekstrudaatti sisältää 32,25 g fosfosrihappoa ja 3,22 g c-vitamiinia 1 kg lesettä kohti. Liuoksen pH=3,9

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
23,3	0,515	23,6
41,4	0,476	23,6
74,5	0,349	23,5
125,6	0,260	23,4
224,5	0,187	23,4
391,3	0,139	23,4
692,2	0,098	23,3
1216	0,070	23,3

**Ekstrudaattiliuoksen hapon määrän vaikutus viskositeettiin vesiliuoksessa**

Taulukko 1. Ekstruusiossa käytetyn fosforihapon vaikutus ekstrudaatin tuottamaan viskositeettiin leikkausnopeudella 41 1/s vesiseoksessa, jossa 5 g ekstrudaattia per 100 ml vettä.

Fosforihappopitoisuus (g/kg lesettä)	Viskositeetti (Pas) Sarja 1	Viskositeetti (Pas) Sarja 2	pH
0	0,735	0,775	6,9
29	0,651	0,582	4,1
36	0,571	0,550	3,8
42	0,530	0,530	3,6
43	0,349	0,349	3,1

**Askorbiini- ja fosforihapon yhteisvaikutus ekstrutoidun kauraleseen tuottamaan viskositeettiin vesiseoksessa**

Taulukko 1. Ekstruusiassa käytetyn askorbiinihapon vaikutus ekstrudaatin tuottamaan viskositeettiin leikkausnopeudella 41 1/s vesiseoksessa, jossa 5 g ekstrudaattia per 100 ml vettä. Ekstruusiassa on käytetty 20 g fosforihappoa per 1 kg lesettä ja kokeista tehtiin kaksi rinnakkaista sarjaa.

Askorbiinihappopitoisuus (g/kg lesettä)	Viskositeetti (Pas) Sarja 1	Viskositeetti (Pas) Sarja 2
0	0,343	0,351
1	0,348	0,381
2	0,335	0,416
3	0,403	0,431
4	0,342	0,405
5	0,265	0,341

Taulukko 2. Ekstruusiassa käytetyn askorbiinihapon vaikutus ekstrudaatin tuottamaan viskositeettiin leikkausnopeudella 41 1/s vesiseoksessa, jossa 5 g ekstrudaattia per 100 ml vettä. Ekstruusiassa on käytetty 32 g fosforihappoa per 1 kg lesettä ja kokeista tehtiin kaksi rinnakkaista sarjaa.

Askorbiinihappopitoisuus (g/kg lesettä)	Viskositeetti (Pas) Sarja 1	Viskositeetti (Pas) Sarja 2
0	0,490	0,538
1	0,512	0,598
3	0,578	0,562
6	0,520	0,597
9	0,480	0,522

**Askorbiini- ja fosforihapon yhteisvaikutus ekstrutoidun kauraleseen tuottamaan viskositeettiin vesiseoksessa**

Taulukko 3. Vetyperoksidin käytön vaikutus vesiseoksen viskositeettiin 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä. Näyte 1 ei sisällä vetyperoksidia ja näytteeseen 2 on lisätty ekstruusiassa 0,2 g vetyperoksidia. Ekstrudaatti sisältää 24 g fosforihappoa ja 1 g askorbiinihappoa 1 kg lesettä kohti.

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas) näyte 1	Viskositeetti (Pas) näyte 2
22,6	0,906	0,637
41,2	0,704	0,535
74,0	0,472	0,377
124,9	0,329	0,279
224,0	0,223	0,198
389,8	0,156	0,142
690,1	0,106	0,099
1213	0,074	0,070

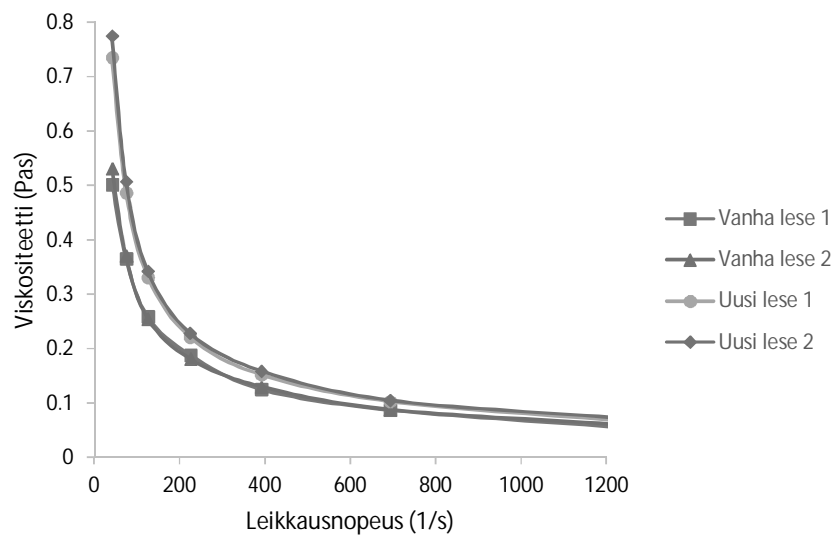
Taulukko 4. Vetyperoksidin käytön vaikutus vesiseoksen viskositeettiin 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä. Näyte 1 ei sisällä vetyperoksidia ja näytteeseen 2 on lisätty ekstruusiassa 0,2 g vetyperoksidia. Ekstrudaatti sisältää 24 g fosforihappoa ja 1 g askorbiinihappoa 1 kg lesettä kohti. (Rinnakkaiskoe)

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas) näyte 1	Viskositeetti (Pas) näyte 2
24,7	0,780	0,631
41,1	0,622	0,522
74,0	0,427	0,363
125,3	0,304	0,268
223,9	0,213	0,197
390,2	0,153	0,138
690,0	0,103	0,096
1213	0,070	0,069

**Ekstrudoidun kauraleseen viskositeetti ilman happokäsittelyä**

Työssä käytettiin kahta kauralese-erää. Kummastakin erästä määritettiin käsittelemättömän leseen tuottama viskositeetti vesiseoksessa pitoisuudella 5 g/100 ml. Viskositeettimäärittelyksistä tehtiin rinnakkaiskokeet joiden tulokset on esitetty kuvassa 1.

Kuva 1. Työssä käytettyjen kauralese-erien käsittelemättömänä tuottamat viskositeetti





**Kauraleseen ja kolloidisen kaurajauhon yhteisviskositeetti**

Valmistettiin koesarja, jossa kolloidista kaurajauhoa ja ekstruusiokäsiteltyä kauralesettä (32,25 g fosforihappoa ja 3,22 g c-vitamiinia 1 kg lesettä kohti) sekoitetaan veteen, joka sisältää 5 g sokeria/100 ml vettä. Kauraleseen ja kolloidisen kaurajauhon pitoisuutta muuteltiin siten, että jokainen seos sisälsi 0,4 g beetaglukaania/100 ml vettä.

Taulukko 1. Vesiseoksen, joka sisältää 8 g kolloidista kaurajauhoa 100 ml:ssa vettä, viskositeetti

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
23,5	1,324	24,7
41,4	0,926	24,6
74,2	0,629	24,5
125,7	0,436	24,3
224,4	0,289	24,3
390,7	0,193	24,3
692,0	0,135	24,3
1216	0,093	24,3

Taulukko 2. Vesiseoksen, joka sisältää 1 g ekstrudoitua lesettä ja 6 g kolloidista kaurajauhoa 100 ml:ssa vettä, viskositeetti

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
24,7	0,812	28,3
41,7	0,657	28,0
74,2	0,436	27,7
125,7	0,307	27,5
224,8	0,207	27,2
390,9	0,147	27,1
692,0	0,103	26,5
1216	0,070	26,4

Taulukko 3. Vesiseoksen, joka sisältää 2 g ekstrudoitua lesettä ja 4 g kolloidista kaurajauhoa 100 ml:ssa vettä, viskositeetti

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
24,7	0,812	28,3
41,7	0,657	28,0
74,2	0,436	27,7
125,7	0,307	27,5
224,8	0,207	27,2
390,9	0,147	27,1
692,0	0,103	26,5
1216	0,070	26,4

LIITE 5 (2/2)

**Kauraleseen ja kolloidisen kaurajauhon yhteisviskositeetti**

Taulukko 4. Vesiseoksen, joka sisältää 3 g ekstrudoitua lesettä ja 2 g kolloidista kaurajauhoa 100 ml:ssa vettä, viskositeetti

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
25,0	0,839	24,8
41,3	0,617	24,6
74,1	0,411	24,6
125,7	0,287	24,5
224,6	0,192	24,5
391,0	0,133	24,5
691,8	0,094	24,4
1216	0,068	24,3

Taulukko 5. Vesiseoksen, joka sisältää 4 g ekstrudoitua 100 ml:ssa vettä, viskositeetti

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
23,3	0,356	24,5
41,4	0,294	24,4
74,1	0,221	24,3
125,8	0,170	24,2
224,5	0,126	24,1
391,1	0,092	24,0
692,2	0,064	24,0
1216	0,047	24,1

**Kauralese-maltodekstriiniseoksen viskositeetti vesiseoksessa**

Taulukko 1. Maltodekstriinin vaikutus vesiseoksen viskositeettiin 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä. Näyte 1 ei sisällä maltodekstriiniä ja näytteeseen 2 on lisätty 5 g maltodekstriiniä. Ekstrudaatti sisältää 32,6 g fosforihappoa 1 kg lesettä kohti.

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas) näyte 1	Viskositeetti (Pas) näyte 2
24,8	0,420	0,273
41,4	0,416	0,267
74,2	0,306	0,214
125,8	0,230	0,169
224,4	0,166	0,131
391,1	0,127	0,103
692,4	0,091	0,080
1216	0,063	0,060

Taulukko 2. Maltodekstriinin vaikutus vesiseoksen viskositeettiin 5 g:lle ekstrudaattia 100 ml:ssa vettä. Näyte 1 ei sisällä maltodekstriiniä ja näytteeseen 2 on lisätty 5 g maltodekstriiniä. Ekstrudaatti sisältää 32,6 g fosforihappoa 1 kg lesettä kohti. (Rinnakkaiskoe)

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas) näyte 1	Viskositeetti (Pas) näyte 2
23,4	0,353	0,374
41,3	0,477	0,309
74,1	0,340	0,236
125,7	0,247	0,182
224,7	0,172	0,139
391,2	0,131	0,108
692,2	0,090	0,078
1216	0,063	0,058

**Juomaseoksen viskositeetin säilyvyys pitkällä aikavälillä**

Valmistettiin juomajauhe seos jossa on 27 % kauralesettä, 18 % kolloidista kaurajauhoa, 45 % maltodekstriiniä, 5 % rypsiöljyä ja 2 % siirappia. Seoksesta valmistetaan juoma, jossa on 10 g jauhetta 100 ml vettä kohti. Juoma kiehausutettiin ja jäädytettiin. Juoma säilytettiin 6 °C ja sen viskositeettia seurattiin viikon ajan

Taulukko 1. Juoman viskositeetti 5 vrk kylmäsäilytyksessä.

Aika valmistuksesta (vrk)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
0	0,256	22,0
1	0,298	21,0
2	0,310	18,1
5	0,292	21,7

**Juomaseoksen viskositeetin kylmään ja kuumaan veteen sekoitettaessa**

Valmistettiin juomajauhe seos jossa on 9 % PromOat beetaglukaanikonsentraattia, 41 % kauraydinjauhoa, 42 % maltodekstriiniä, 5 % rypsiöljyä ja 2 % siirappia. Seoksesta valmistetaan kaksi juomaa, joissa on 10 g jauhetta 100 ml vettä kohti. Toinen sekoitetaan kylmään veteen ja toinen kuumaan

Taulukko 1. Juoman viskositeetti 45 min päästä sekoituksesta kylmään veteen

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
30,1	-	21,8
42,5	-	21,8
74,1	-	21,8
124,8	0,034	21,8
223,0	0,034	21,8
390,4	0,032	21,8
690,5	0,028	21,8
1213	0,025	21,8

Taulukko 2. Juoman viskositeetti 45 min päästä sekoituksesta kuumaan veteen

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
32,9	-	24,2
44,3	0,122	24,8
74,0	0,120	24,8
124,8	0,108	24,8
223,9	0,093	24,7
389,9	0,077	24,5
690,4	0,060	24,5
1213	0,050	24,4

Taulukko 3. Juoman viskositeetti 120 min päästä sekoituksesta kylmään veteen

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
31,9	-	21,7
45,5	-	21,7
73,7	0,053	21,7
124,9	0,050	21,7
224,6	0,045	21,6
390,0	0,037	21,5
690,4	0,032	21,5
1213	0,030	21,5

LIITE 8 (2/2)

**Juomaseoksen viskositeetin kylmään ja kuumaan veteen sekoitettaessa**

Taulukko 4. Juoman viskositeetti 120 min päästä sekoituksesta kuumaan veteen

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
32,9	-	25,5
41,2	0,137	26,4
74,1	0,125	26,3
124,8	0,111	26,3
223,9	0,094	26,2
389,9	0,076	26,0
689,6	0,051	23,5
1213	0,043	23,4

Taulukko 5. Juoman maksimiviskositeetti kuumennuksen ja jäähtymisen jälkeen

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
23,9	0,622	20,4
41,2	0,569	20,4
74,0	0,433	20,4
125,2	0,334	20,4
224,0	0,248	20,4
390,0	0,183	20,5
690,0	0,134	20,5
1212	0,099	20,8

Taulukko 6. Vertailukohteena käytetyn Valio mustikkakeiton viskositeetti

Leikkaus-nopeus (1/s)	Viskositeetti (Pas)	Lämpötila (°C)
27,4	-	20,0
41,5	0,145	20,1
74,5	0,122	20,2
125,6	0,102	20,2
224,8	0,079	20,2
391,1	0,060	20,3
692,3	0,045	20,3
1217	0,035	20,4

**VTT:ltä saadut molekyylipainonmäärityksen tulokset**

Aalto A1 ja A2 ovat määritetty ekstruusiokäsittelemättömästä leseestä. Aalto B1 ja B2 ovat leseestä, jota on käsitelty fosforihapolla (42 g/1 kg lesettä). Aalto C1 ja C2 ovat leseestä, jota on käsitelty fosforihapolla (42 g/1 kg lesettä) ja askorbiinihapolla (3,1 g/ 1 kg lesettä).

Sample	Mw (average, g/mol)	Mw> 1 000 000	1 000 000>Mw>100 000	Mw<100 000
Aalto A1	1860527	74	25	0
Aalto A2	1899163	76	24	0
Aalto B1	1301332	57	41	2
Aalto B2	1342937	58	41	2
Aalto C1	1234647	53	45	2
Aalto C2	1202245	51	47	2